КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни:

МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ, ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ ТА ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ

Укладач: к.т.н. Манжілевський О.Д.

2015р.

ЗМІСТ

ВСТУП. Основні терміни та визначення
1. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КОНСТРУЮВАННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ.
2. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВЕРСТАТІВ
2.1 Забезпечення геометричної і кінематичної точності
2.2 Забезпечення жорсткості
2.3 Забезпечення теплостійкості
2.4 Забезпечення задовільних шумових характеристик
2.5 Забезпечення надійності
3. ФОРМУВАННЯ КОМПОНОВКИ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ
3.1 Загальні відомості про принципи формування компоновки верстатів
3.2 Фактори, що впливають на вибір компоновки верстата
4. ПРИВОДИ ВЕРСТАТІВ
4.1 Приводи головного руху
4.1.1 Призначення, основні вимоги та класифікація
4.1.2 Особливості головних приводів верстатів з ЧПК
4.1.3 Напрямки удосконалення приводів головного руху багатоопераційних верстатів
4.2 Привод подач
4.2.1 призначення, основні вимоги та класифікація
4.2.2 Особливості кінематичних схем приводів верстатів з ЧПК
5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ
5.1 Початкові дані для проектування
5.2 Закономірності ряду частот обертання шпинделя
5.3 Типові механічні передачі у приводах
5.4 Приводи з послідовно з’єднаними груповими передачами
5.5 Приводи з частковим перекриттям ступенів частот обертання
5.6 Приводи складеної структури
5.7 Приводи з двошвидкісним двигуном
5.8 Послідовність кінематичного розрахунку приводу
5.9 Визначення навантажень на привод
5.10 Визначення втрат потужності у приводі
5.11 Вибір асинхронного електродвигуна для приводу

6. ШПИНДЕЛЬНІ ВУЗЛИ
6.1 Вимоги до шпиндельних вузлів
6.2 Приводи шпинделів
6.3 Конструкції переднього кінця шпинделя
6.4 Матеріали шпинделів
7. НАПРЯМНІ ВЕРСТАТІВ
7.1 Призначення напрямних верстатів і вимоги, що пред'являються до них
7.2 Класифікація напрямних і їх характеристика
7.3 Напрямні змішаного тертя (ковзання)
7.4 Гідростатичні напрямні
7.5 Аеростатичні напрямні
7.6 Напрямні кочення
8. ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ
8.1 Загальні відомості, призначення і класифікація промислових роботів
8.2 Основні види компоновок промислових роботів
8.3 Захватні пристрої ПР
8.4 Приводи ПР
8.5 Використання ПР для обслуговування верстатів
8.6 Використання ПР на складальних роботах
9. БАГАТООПЕРАЦІЙНІ ВЕРСТАТИ
9.1 Багатоопераційні верстати їх призначення та технологічні можливості
9.2 Компоновка багатоопераційних верстатів
9.3 Можливості багатоопераційних верстатів
10. МЕХАТРОННІ ПРИСТРОЇ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ОБЛАДНАННІ
10.1 Мехатронні вузли в автоматизованому обладнанні
10.2 Пристрої автоматичної зміни інструменту (АЗІ)

ВСТУП

Основні терміни та визначення

Металорізальний верстат – машина для розмірної обробки заготовок шляхом зняття стружки. Обробка проводиться переважно шляхом різання лезовим або абразивним інструментом. Використовуються також електрофізичні та електрохімічні методи обробки, поверхневе пластичне деформування, оптичні лазери. У верстаті створюються рухи для утворення ріжучим інструментом на заготовці однієї або декількох заданих поверхонь. Всі ці рухи є цілком визначеними, що відповідають заданому технологічному процесу. Для забезпечення необхідних закономірностей кожного руху встановлюють характерні його параметри і створюють у верстаті відповідні механізми.

Металорізальні верстати у відповідності зі службовим призначенням мають різні технологічні можливості і розміри. Сукупність всіх типів і розмірів верстатів, що випускаються в певний період часу, називається типажем.

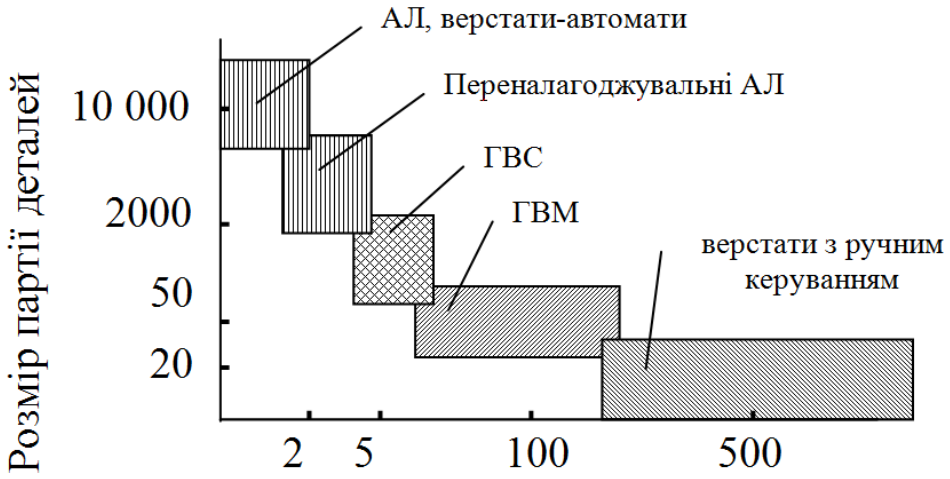
Верстати класифікуються за багатьма ознаками. Залежно від виду обробки і застосовуваного ріжучого інструменту верстати поділяють на технологічні групи: токарні, свердлильні й розточувальні, фрезерні, шліфувальні і т.д. По класу точності розрізняють верстати нормальної (Н), підвищеної (П), високої (В), особливо високої (А) точностей і особливо точні верстати (С). За ступенем універсальності можна виділити універсальні (загального призначення), спеціалізовані та спеціальні верстати. За рівнем автоматизації виділяють: верстати-напівавтомати, верстати-автомати, верстати з ЧПК, гнучкі виробничі модулі. Залежно від маси прийнято розділяти верстати на легкі (до 1 т), середні (1 ... 10 т), важкі (більше 10т) і унікальні (більше 100 т).

Процес обробки на верстатах здійснюється за допомогою рухів формоутворення, в яких беруть участь як інструмент, так і заготовка.

Формоутворюючі рухи можуть бути рухами різання і рухами подачі. Ці рухи в процесі різання утворюють на заготовці задані поверхні.

Крім технологічних операцій, пов'язаних із зміною форми і розмірів заготовок, на верстатах необхідні допоміжні операції для зміни різального інструменту і заготовок, їх затиску і контролю, для підведення в зону обробки мастильно-охолоджувальної рідини і видалення стружки, а також для керування верстатами, контролю та діагностування їх стану.

Області ефективного застосування окремих верстатів і верстатних комплексів показані нижче.



На рисунку позначено: АЛ – автоматичні лінії; ГВС – гнучкі виробничі системи; ГВМ – гнучкі виробничі модулі.

Історично першим видом металорізального устаткування є універсальні верстати з ручним керуванням, які постійно удосконалюються і навіть оснащуються окремими засобами автоматизації. Основні недоліки верстатів – низька продуктивність і виконання робочим всього необхідного циклу керування роботою верстата.

Зазвичай технологічний процес виготовлення деталі на верстаті дозволяє одночасно закріплювати заготовку, міняти ріжучий інструмент, встановлювати необхідні режими різання. Але практично на верстаті з ручним керуванням робочий всі ці допоміжні операції виконує послідовно. Аналогічна ситуація має місце і з робочими операціями. У більшості випадків технологічний процес можна виконувати кількома одночасно працюючими інструментами, однак при ручному керуванні всі робочі операції виконуються послідовно.

Збільшення масштабів виробництва, потреба у виготовленні великої кількості одних і тих же машин зумовили появу універсальних верстатів-автоматів і напівавтоматів. Автомат – це верстат, автоматично і багаторазово виконує всі робочі і холості (допоміжні) елементи циклу обробки деталі, крім наладки. Напівавтомат – це верстат з автоматичним циклом, повторюваним за участю робітника.

Особливістю верстатів-автоматів є висока продуктивність. Так, наприклад, токарний шестишпиндельний автомат може замінити по продуктивності до 20 універсальних токарних верстатів з ручним керуванням, що досягається суміщенням допоміжних і робочих операцій, високими швидкостями виконання всіх допоміжних переміщень, великою кількістю одночасно працюючих інструментів.

Хоча верстати-автомати розглянутого виду і називають універсальними, можливість їх переналагодження значно нижча, ніж верстатів з ручним керуванням. Наприклад, робітник може встановлювати і закріплювати в шпинделі токарного верстата однаково просто як пруток, так і штучні заготовки; в токарному автоматі механізми завантаження і затиску, які створені для пруткового матеріалу, непридатні для штучних заготовок. Цим і

пояснюється велика різноманітність (і відповідно велика кількість типорозмірів) універсальних автоматів.

На верстаті з ручним керуванням робочий, закінчивши виготовлення чергової деталі, може відразу ж приступити до виготовлення за іншим кресленнями абсолютно іншої деталі. На універсальному верстаті-автоматі таке переналагодження займає кілька годин, а підготовка до переналадки (проектування та виготовлення кулачків, копірів, розробка циклограм і карт налагодження) – кілька днів. Тому фактична продуктивність автоматів в умовах дрібносерійного виробництва виявляється низькою.

Таким чином, універсальні автомати і напівавтомати найбільш ефективні в тому виробництві, де не потрібні часті переналагодження обладнання, тобто у багатосерійному виробництві.

Прагнення максимально підвищити продуктивність при великих масштабах виробництва призвело до створення спеціалізованих і спеціальних верстатів-автоматів. Спеціалізованими називаються верстати-автомати, які можуть бути переналагоджені на обробку невеликої групи однотипних деталей (наприклад, кілець підшипників кочення). Спеціальні верстати-автомати створюються для обробки однієї-єдиної деталі (наприклад, колінчастого валу). Вузька спеціалізація такого обладнання призводить до значного спрощення його компонування, конструкції і системи керування.

Крім того, проектуючи верстат-автомат для обробки будь-якої конкретної деталі, можна вибрати оптимальними технологічний процес і режими різання, поєднати операції, спростити наладку, керування та обслуговування. Все це дозволяє забезпечити більш високу продуктивність і ефективність у порівнянні з універсальними автоматами в умовах багатосерійного і масового виробництв.

1. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КОНСТРУЮВАННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Процес проектування можна розглядати як сукупність процедур переробки інформації, в результаті чого виникає кінцевий продукт цього процесу у вигляді проекту технічного об'єкта, наприклад, металорізального верстата, промислового робота, автоматичної лінії і т. п. Таким чином, проект – це інформаційний аналог реального технічного об'єкта .

Технічний об'єкт являє собою систему, що складається з елементів і характеризується власними структурою і параметрами. Наприклад, така система, як верстат, складається з елементів (вузлів), які, у свою чергу, можна розглядати як системи, елементами яких є деталі і т.д.

Структура системи – це сукупність елементів, з яких вона складається, і їх зв'язку між собою. Два шпинделя токарного верстата, один – на опорах кочення, інший – на гідростатичних підшипниках – системи різної структури. Також різну структуру матимуть шпинделі, якщо застосувати підшипники кочення, але змонтувати їх за різними схемами. У першому випадку відмінності породжуються відмінністю природи елементів (гідростатичні опори і опори кочення), у другому – розходженням зв'язків, між елементами. У машинобудуванні результатом синтезу структури зазвичай є ескізний проект системи.

Параметри системи – це деякі характеристичні, величини, визначені значення яких виділяють даний об'єкт із сукупності йому подібних. Так, діаметр шпинделя, відстань між його опорами, конус на передньому кінці і т. п. – параметри системи «шпиндельний вузол».

Технічне рішення завжди реалізується для досягнення певних цілей. На шляху до цих цілей, як правило, є обмеження. Зазвичай цілі та обмеження формулюються досить суворо. Наприклад: створити гідроциліндр, що розвиває зусилля в 5000 Н і має зовнішній діаметр не більше 200 мм. Рішення, яке забезпечує досягнення мети і задовольняє обмеженням, є допустимим. Знаходження хоча б одного допустимого рішення і є основне завдання конструктора.

Якщо обмеження не надто жорсткі, то можна зазвичай знайти кілька допустимих рішень і з них вибрати оптимальне. Різні допустимі варіанти технічного рішення створюють за рахунок варіювання структури і параметрів об'єкта. Вибір оптимального варіанту можливий у тому випадку, якщо є кількісна міра оцінки варіантів. Такою мірою можуть служити проектні критерії – характеристики якості роботи об'єкта. Виражені кількісно через значення параметрів технічного об'єкта, їх називають цільовими функціями; вони служать основою для вибору оптимального варіанту. Наприклад, стосовно шпиндельного вузла, величина жорсткості на передньому кінці шпинделя, представлена у вигляді залежності від параметрів вузла, може виступати в якості цільової функції. Автоматизація процесу проектування технічного об'єкта передбачає визначення структури і параметрів елементів і всього об'єкта

в цілому в умовах систематичного застосування ЕОМ, що дозволяє отримати варіант проекту, близький до оптимального.

Повертаючись до згаданих вище процедурам, переробки інформації в процесі проектування, відзначимо, що їх можна розділити на дві групи – формальні і неформальні процедури. До перших (вони можуть бути повністю передані ЕОМ) домовимося відносити такі, при яких переробка інформації піддається алгоритмізації, тобто проводиться за правилами, що задає строго певну послідовність операцій, що приводять до шуканого результату. До других – всі інші процедури.

Проектування, при якому всі проектні рішення або їхня частина одержують шляхом взаємодії людини та ЕОМ, називають автоматизованими на відміну від ручного (без використання ЕОМ) або автоматичного (без участі людини на проміжних етапах). Система, що реалізує автоматизоване проектування, являє собою систему автоматизованого проектування (в англомовному написанні CAD System – Computer Aided Design System). САПР (або CAD) звичайно використовуються разом із системами автоматизації інженерних розрахунків і аналізу CAE (Computer-Aided engineering). Дані із CAD- систем передаються в CAM (Computer-Aided manufacturing) – систему автоматизованої розробки програм обробки деталей для верстатів.

CAE – автоматизоване конструювання, використання спеціального програмного забезпечення для проведення інженерного аналізу міцності та інших технічних характеристик компонентів, виконаних у системах автоматизованого проектування. Програми автоматизованого конструювання дозволяють здійснювати динамічне моделювання, перевірку та оптимізацію виробів і засобів їхнього виробництва.

CAM – автоматизоване виробництво. Термін використовується для позначення програмного забезпечення, основною метою якого є створення програм для керування верстатами зі ЧПК (числове програмне керування). Вхідними даними CAM- системи є геометрична модель виробу, розроблена в системі автоматизованого проектування. У процесі інтерактивної роботи із тривимірною моделлю в CAM системі інженер визначає траєкторії руху різального інструменту по заготовці виробу, які потім автоматично верифікуються, візуалізуються (для візуальної перевірки коректності) і обробляються постпроцесором для одержання програми керування конкретним верстатом.

Розглядаючи будь-який проект і процес його створення, легко можна бачити, що формальні процедури займають велику частину загальної його трудомісткості. Наприклад, при проектуванні металорізального верстата, згідно з діючими нормами на виконання конструкторських робіт, трудомісткість формальних процедур (збір інформації, різні розрахунки, розробка робочої конструкторської документації) становить близько 60% загальної трудомісткості проекту.

Слід зазначити, що, незважаючи на істотну частку в загальному обсязі робіт, ці процедури не визначають основні якісні характеристики технічного об'єкта, т. Е. Його проектні критерії, хоча і покращують проект, головним

чином, за рахунок істотного зменшення помилок. Великий обсяг формальних процедур при проектуванні є першою об'єктивною передумовою автоматизації процесу проектування, хоча в силу невизначуване, в сенсі якості об'єкта, характеру цих процедур зазначена передумова сама по собі недостатня для того, щоб очікувати істотного ефекту від автоматизації проектування. Дійсно, різке підвищення якості проекту (кратне скорочення термінів проектування, отримання вироби, що перевершує рівень кращих наявних зразків, суттєве скорочення термінів налагодження дослідної партії і т. п.) За допомогою автоматизації лише формальних процедур принципово недосяжне. Подібні результати можуть бути отримані лише при побудові автоматизованої системи проектування, що включає як формальні, так і неформальні процедури. Автоматизація останніх при цьому на увазі діалог проектувальника й ЕОМ, в результаті якого знаходиться оптимальне технічне рішення. Можливість знаходження такого рішення є другий, дуже важливою передумовою автоматизації процесу проектування, так як тільки застосування ЕОМ дозволяє порівняти різні варіанти вирішення на основі кількісної оцінки їх якості.

Проектування таких складних технічних систем, як верстати, завжди ведеться в умовах, коли і об'єкт проектування, і сам процес проектування розчленовуються на ієрархічні рівні. Такими рівнями стосовно до об'єкта є агрегати, вузли, деталі і т. п. Рівнями процесу проектування є його стадії: технічне завдання, технічна пропозиція, ескізний проект, робочий проект. Зазначені умови визначають таку специфіку проектування, коли на кожному рівні ведеться робота по синтезу системи, елементи якої повністю не визначені. Наприклад, компоновка верстата повинна бути обрана до того, як конструктивно розроблені його вузли.

Аналогічне положення має місце на всіх рівнях проектування. Це призводить до того, що при докладної розробці елементів, як правило, виникає можливість поліпшення системи. Однак ця можливість найчастіше не використовується через великого обсягу змін проекту. Автоматизація проектування дозволяє вносити зміни в проект практично на будь-якій стадії і без обмеження їх обсягу. Ця обставина є третьою об'єктивною передумовою автоматизації процесу проектування. Нарешті, в якості четвертої передумови можна відзначити той факт, що зберігання, переробка і використання величезної кількості довідкової інформації, яка при проектуванні необхідна конструктору, найкращим чином можуть бути організовані за допомогою ЕОМ.

Додаткова інформація.

Огляд найбільш поширених САПР світових виробників.

AutoCAD – найвідоміший із продуктів компанії Autodesk, універсальна система автоматизованого проектування, що поєднує у собі функції двовимірного креслення й тривимірного моделювання. З'явився в 1982 році і був однієї з перших САПР, розроблених для PC. Швидко завоював популярність серед проектувальників, інженерів і конструкторів різних галузей промисловості завдяки демократичним цінам.

AutoCAD прискорює щоденну роботу зі створення креслень і підвищує швидкість і точність їхнього виконання. Середовище концептуального проектування забезпечує легке й інтуїтивне створення і редагування твердих тіл і поверхонь. AutoCAD дозволяє легко й швидко створювати на основі моделі розрізи й проекції, ефективно формувати комплекти креслень і керувати ними: групувати їх по розділах проекту та інших логічних категорій, створювати переліки аркушів, керувати видами креслень, архівувати комплекти проектної документації та організовувати спільну роботу фахівців. Наявні в AutoCAD засоби візуалізації, такі як анімація й реалістичне тонування, допомагають виявити будь-які вади на ранніх етапах проектування.

Формат DWG, що використовується в AutoCAD є стандартом серед проектувальників різних галузей промисловості, крім того, є можливості експорту й імпорту інших розповсюджених файлових форматів, таких як pdf, що дозволяє ефективно організувати обмін даними між фахівцями.

Програма постійно розвивається, серед можливостей, що з'явилися в нещодавно, можна назвати параметричні взаємозв'язки між об'єктами, створення та редагування об'єктів довільної форми тощо. Існують спеціалізовані галузеві різновиди AutoCAD для архітектури, дорожнього будівництва та землевпорядження, електротехніки, машинобудування тощо. Для фахівців, яким не потрібні функції роботи з 3D графікою, існує полегшена версія AutoCAD, призначена для створення двовимірних креслень – AutoCAD LT.

Рішення Autodesk для промислового виробництва й машинобудування засновані на технології цифрових прототипів, тобто надають конструкторам, інженерам, дизайнерам і технологам можливість повністю досліджувати виріб ще на етапі проектування. За допомогою даної технології виробники створюють цифрові моделі та проекти, конструюють, перевіряють, оптимізують і керують ними на всіх етапах – від ідеї до реального втілення

AutoCAD Mechanical – продукт на платформі AutoCAD для промислового виробництва, що є частиною технології цифрових прототипів Autodesk. Він допомагає прискорити процес проектування, дозволяючи в той же час використовувати досвід і проекти, накопичені при роботі в AutoCAD. Маючи у своєму складі бібліотеки ДСТУ, стандартних деталей і функції автоматизації типових завдань, він забезпечує значний виграш у продуктивності при проектуванні.

AutoCAD Electrical – це AutoCAD для проектування електричних систем керування, що є важливою частиною технології цифрових прототипів Autodesk і що дозволяє працювати швидко, якісно й зі значно меншими витратами в знайомому середовищу проектування. Спеціалізовані функції й великі бібліотеки умовних позначень дозволяють підвищити продуктивність, усунути ризик виникнення помилок і забезпечити точність інформації, переданої у виробництво.

AutoCAD Inventor Suite являє собою збалансований набір рішень Autodesk для проектування та конструювання в промисловому виробництві. Рішення сполучать у собі інтуїтивне середовище 3D моделювання деталей і виробів з

інструментами, дозволяють конструкторам зосередитися на функціональних вимогах до проекту. Ці інструменти містять у собі автоматичне створення інтелектуальних компонентів, таких як деталі із пластмаси, сталеві каркаси та обертові механізми.

CATIA – система автоматизованого проектування французької фірми Dassault Systems. CATIA V1 була анонсована в 1981 році. У даний момент у світі використовуються дві версії – V4 і V5, які значно відрізняються між собою. CATIA V4 була анонсована в 1993 році й створювалася для Unix-подібних операційних систем, CATIA V5 була анонсована в 1998 році, і це перша з версій, що може працювати під керуванням Microsoft Windows. По завіренню Dassault Systems, CATIA V5 була написана "з нуля" і втілила в собі передові технології САПР. Спочатку CATIA V5 не користувалася особливою популярністю на ринку і щоб стимулювати її використанняDassault Systems висунула концепцію PLM (Product Lifecycle Management). Ідея PLM виявилася вдалою і її підхопила майже вся індустрія САПР. У лютому 2008 року Dassault Systems анонсувала нову версію системи – CATIA V6. V6 буде підтримувати програми моделювання для всіх інженерних дисциплін і колективні бізнес-процеси протягом життєвого циклу виробу. Нова концепція фірми одержала назву "PLM 2.0 на платформі V6". Суть концепції – тривимірне моделювання і колективна робота в реальному часі. Для зв'язку між людьми, що перебувають у різних точках світу, передбачені засоби простого підключення до Web. PLM 2.0 – це новий підхід, що відкриває можливість використовувати інтелектуальні результати онлайнового взаємозвязку. Кожний користувач може придумувати, розробляти продукти та обмінюватися інформацією на універсальній 3D-мові. Користувачі зможуть у наочній формі оперувати одночасно віртуальними та реальними об'єктами.

Pro/Engineer – CAD система високого рівня. Містить у собі всі необхідні модулі для твердотілого моделювання деталей і створення креслярської документації. Має убудовані можливості для проектування зварених конструкцій.

SolidWorks – продукт компанії SolidWorks Corporation, система автоматизованого проектування у трьох вимірах, працює під керуванням Microsoft Windows. Розроблена як альтернатива для двомірних програм САПР. Придбала популярність завдяки простому інтерфейсу. Основний продукт SolidWorks включає інструменти для тривимірного моделювання, створення креслень, роботи з листовим металом, звареними конструкціям і поверхнями довільної форми. Є можливість імпортування великої кількості файлів 2D і 3D CAD програм. Є API для програмування в середовищі Visual Basic і C. Також включена програма для аналізу методом кінцевих елементів початкового рівня CosmosXpress.

ADEM (Automated Design Engineering Manufacturing) – російська інтегрована CAD/CAM/CAPP-система, призначена для автоматизації конструкторсько-технологічної підготовки виробництва (КТПП). ADEM був створений як єдиний продукт, що включає в себе інструментарій для проектантів і конструкторів (CAD), технологів (CAPP - Computer-Aided Process

Planning) і програмістів ЧПК. Тому він містить декілька різних предметно-орієнтованих САПР під єдиною логікою керування і на єдиній інформаційній базі. ADEM дозволяє автоматизувати наступні види робіт:

3D і 2D моделювання та проектування; оформлення проектно-конструкторської й технологічної документації; проектування технологічних процесів; аналіз технологічності й нормування проекту; програмування устаткування. ADEM застосовується у різних галузях: авіаційній, атомній, аерокосмічній, машинобудівній, металургійній, верстатобудівній та інших.

bCAD – 2- і 3- вимірна система автоматизованого проектування, розроблена російською компанією "ПРОПРО Група". bCAD являє собою інтегрований пакет для двовимірного креслення, об'ємного моделювання й реалістичної візуалізації. Система одержала широке поширення в меблевому виробництві та дизайні інтер'єрів. Незважаючи на досить розвинені засоби проектування, у промисловості практично не застосовується.

T-FLEX CAD – система автоматизованого проектування, розроблена компанією "Топ Системи" з можливостями параметричного моделювання і наявністю засобів оформлення конструкторської документації відповідно до стандартів серії ЕСКД (Єдина система конструкторської документації). T-FLEX CAD є ядром комплексу T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM – набору засобів для рішення завдань технічної підготовки виробництва в різних галузях промисловості. Комплекс поєднує системи для конструкторського і технологічного проектування, модулі підготовки керуючих програм для верстатів та інженерних розрахунків. Всі програми комплексу функціонують на єдиній інформаційній платформі системи технічного документообігу і ведення складу виробів.

КОМПАС – система автоматизованого проектування, розроблена російською компанією "АСКОН" з можливостями оформлення проектної й конструкторської документації відповідно до стандартів серії ЕСКД і СПДБ (Система проектної документації для будівництва). Існує у двох версіях: Компас- Графік і КОМПАС-3D, відповідно призначених для плоского креслення і тривимірного проектування.

MechaniCS – додаток до AutoCAD або Autodesk Inventor, призначене для оформлення креслень відповідно до ЕСКД, проектування систем гідропневмоелементів, зубчастих зачеплень, валів, інженерного аналізу, розрахунку розмірних ланцюгів, створення користувальницьких бібліотек. MechaniCS забезпечує фахівця всім необхідним для проектування машинобудівних об'єктів: більш ніж 1500 стандартами (включаючи ДСТУ, ОСТ, DI і ISO) і уніфікованими компонентами, можливістю створювати власні інтелектуальні об'єкти, виконувати інженерні розрахунки з відображенням результатів на моделі, оформляти проекції креслень по ЕСКД і багато іншого. MechaniCS дає конструкторові можливість застосовувати не тільки геометричні параметри стандартних елементів, але і їхні механічні властивості. На об'єкти в складальних кресленнях (при використанні AutoCAD) можна накладати геометричні і параметричні залежності, використовувати попередньо встановлені залежності при їхньому розміщенні на кресленні.

Література

основна:

О.И. Аверьянов , Г.И. Аверьянова и др. Компоновки металлорежущих станков. –М.: Изд-во МГИУ, 2007. – 168с.

Авраамова Т.М. Металлорежущие станки. Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям "Технология машиностроения", "Металлообрабатывающие станки и комплексы" направления подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств". –М.: Машиностроение, 2011. – 192с.

додаткова:

Расторгуев Г.В., Соловьев В.В. Оценка точности металлорежущего оборудования. –М.: Изд-во РУДН, 2005. – 29с.

А. С. Проников, Е. И. Борисов, В. В. Бушуев и др.; Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник: В 3-х т. Т. 2; Ч.1 : Расчет и конструирование узлов и элементов станков – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, Машиностроение, 1995. 371 с. : ил.

Контрольні запитання

1. Що таке технічний об'єкт?
2. Назвіть дві основні групи процедур переробки інформації.
3. Назвіть головну особливість автоматизованого проектування
4. Що таке CAD-, CAE-, CAM-системи?
5. Назвіть рівні процесу проектування.
6. Назвіть третю та четверту об'єктивні передумови автоматизації процесу проектування металорізальних верстатів.

2. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВЕРСТАТІВ

2.1 Забезпечення геометричної і кінематичної точності

Похибки оброблених на верстаті деталей пов'язані з точністю самого верстата. Під геометричній точністю верстата розуміють точність взаємного розташування його вузлів при відсутності навантажень, тобто на холостому ходу. Вона залежить від похибок виготовлення базових деталей і збірки верстата. Кінематична точність характеризує узгодженість швидкостей декількох простих рухів при обробці деталей складної форми: зубчастих коліс, ходових гвинтів та ін. Точність позиціонування характеризує помилку виведення вузла в задану позицію.

При проектуванні застосовують такі методи забезпечення точності верстатів, як вибір способу обробки, при якому похибки виготовлених деталей відносно мало залежать від верстата, вдосконалення кінематики, підвищення точності елементів його кінематичних ланцюгів.

Наявність зв'язку між похибками оброблених деталей і способом обробки можна показати на прикладах. Так, верстати, що працюють за способом безперервного формоутворення, завжди точніше верстатів з періодичним розподілом. Точний збіг осі отвору з віссю обертання деталі забезпечується, коли в процесі свердління заготовка обертається. Точнішими виходять поверхні, утворені інструментами з примусовим переміщенням, і різьби, оброблені мітчиком з подачею по копіру; отвори, оброблені протяжкою з супроводом її на всій довжині ходу.

На точність верстата істотно впливає точність ланцюгів ділення, позиціонування, різьбоутворення та інших точних переміщень. Кінематичні ланцюги повинні бути короткими. Усередині ланцюгів зберігається висока частота обертання, знижується вона за допомогою кінцевої точної пари з великим передаточним відношенням. Уникають підвищувальних передач. Іноді в кінематичну ланцюг послідовно з основною гітарою включають корегуючу гітару (рис. 2.1, а), З метою тривалого збереження точності відповідального ланцюга поряд з ним для приводу вузла застосовують інший ланцюг, який включається при виконанні відносно грубих переміщень. Наприклад, при точінні на токарно-гвинторізному верстаті включається привід супорта з передачею зубчасте колесо-рейка, при нарізанні різьби – привід з відповідальнішою передачею ходовий гвинт-гайка (рис. 2.1, б), В прецизійних зубофрезерних верстатах для виконання чорнової і чистової обробки стіл отримує обертання за допомогою двох ділильних передач. Точні кінематичні ланцюги розвантажують: зменшенням сили тертя в напрямних; врівноваженням; за допомогою сили, створюваної гідроциліндром. В точних ланцюгах передбачають вибірку зазорів: в косозубих зубчастих передачах – осьовим зсувом одного з коліс (рис. 2.1, в), в прямозубих – розворотом одного вінця провідного колеса щодо іншого (рис. 2.1, г), в черв'ячних – осьовим зсувом черв'яка з поступово дедалі більшою товщиною витків, радіальним

переміщенням черв'яка (рис. 2.1, е), застосуванням в механізмі двох черевиків, один з яких може зміщуватися в осьовому напрямку (рис. 2.1, д).

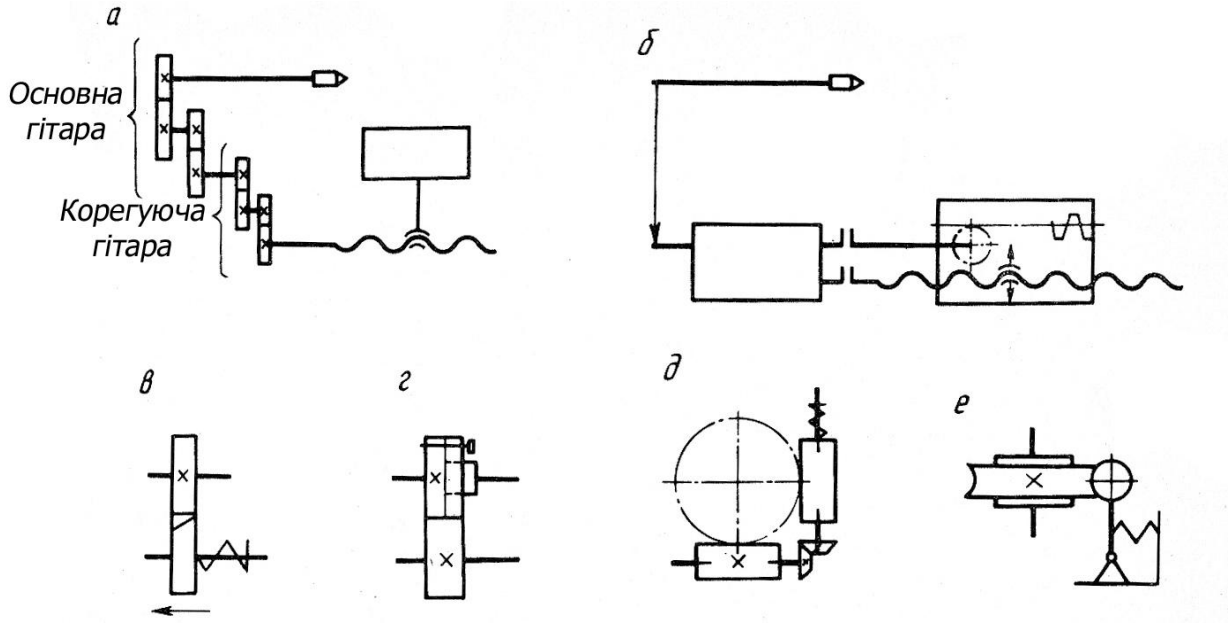


Рисунок 2.1– Способи підвищенні точності кінематичних ланцюгів верстата

2.2 Забезпечення жорсткості

Жорсткість верстата – це його властивість чинити опір появі зсувів під дією постійних або повільно змінюваних в часі сил. В загальне зміщення входять деформації тіла деталей (станини, шпинделя, супорта та ін.); контактні деформації, характерні для механізмів, в яких початкове торкання деталей відбувається в точці або по лінії (підшипники кочення, кулачкові механізми); деформації стиків між деталями. З жорсткістю верстата безпосередньо або через технологічну спадковість пов'язана точність оброблених деталей. Крім того, деформації окремих деталей верстата і стиків між ними призводять до підвищення концентрації напружень, перекосів, порушення рідинного тертя в парах ковзання. Тому розміри і параметри багатьох вузлів і деталей визначають за критерієм жорсткості.

Жорсткість верстата пов'язана з його компонуванням. Застосовують жорсткі замкнуті рамні конструкції; двостоякові вертикальні верстати, жорсткіші, ніж одностоєчні; симетричні конструкції, в яких пружні зміщення в напрямку, що впливає на точність обробки, менше зсувів, що з'являються в несиметричних конструкціях. Вісесиметричними роблять, наприклад, шпиндельні бабки (рис. 2.2, а), столи вертикально-протяжних верстатів (рис.2.2,б).

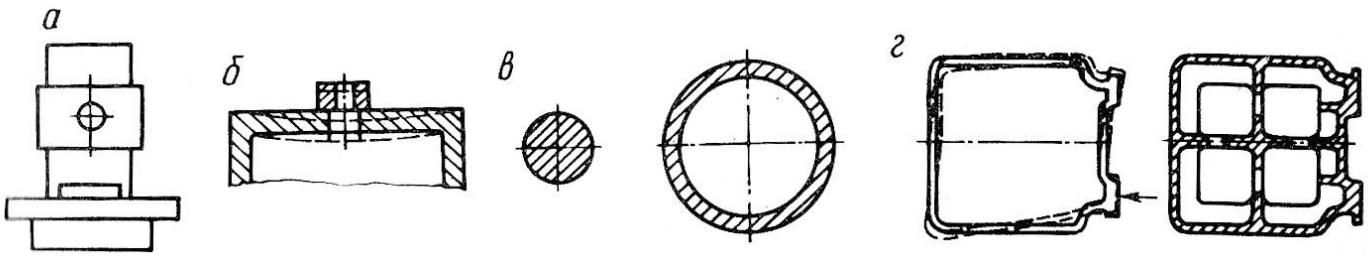


Рисунок 2.2 – Способи підвищення жорсткості верстатів

Високої точності форми оброблених деталей можна досягти, коли при відносному переміщенні інструменту і деталі жорсткість технологічної системи залишається практично постійною. Тому забезпечують сталість жорсткості шпинделя по куту повороту, раціонально розташовують опори верстата (наприклад, одностоєчні верстати встановлюють на трьох опорах: дві – у середній площині столу, третя – під стійкою),

Деталі, що роблять істотний вплив на жорсткість, доцільно розміщувати так, щоб вони працювали на розтягнення-стиснення, В цьому випадку жорсткість вище в порівнянні з конструкцією, в якій деталі працюють на вигин і кручення.

Для зменшення деформацій тіла деталей їх виготовляють з матеріалів з високим модулем пружності, їх поперечному перерізу надають раціональну форму, наприклад кільцеву замість кругової (рис. 2.2, в), В корпусних деталях типу стійок роблять перегородки (рис. 2.2, г), завдяки котрим стінки навантаженої деталі працюють спільно та спотворення її контуру значно зменшується, Для зниження місцевих деформацій плоскі стінки постачають ребрами.

Для підвищення контактної жорсткості вузлів і верстата в цілому зменшують число стиків; покращують якість обробки контактуючих поверхонь; в підшипниках, напрямних кочення, передачах гвинт- гайка кочення і других вузлах створюють попередній натяг.

2.3 Забезпечення теплостійкості

Нагрівання верстата супроводжується температурними деформаціями його деталей, зміною форми їх поверхонь, порушенням точності взаємного положення вузлів. Температурні деформації впливають не тільки на точність, але й на довговічність верстата, так як призводять до зміни зазорів і натягів, погіршення змащування, зниженню контактної жорсткості сполучень, виникнення додаткових коливань,

Джерела теплоти діляться на зовнішні і внутрішні. Зовнішніми є сонячні промені, падаючі безпосередньо на верстат, близько від нього розташоване обладнання з потужними системами підігріву чи охолодження, повітряні потоки, фундамент верстата. До внутрішніх джерел відносяться процес різання, електродвигуни, гідроагрегати, пари тертя,

При розробці конструкції верстата слід застосовувати такі методи зниження температурних деформацій, як вибір раціональної його

компонування, зменшення теплоутворення в передачах і опорах, інтенсивний відвід теплоти із зони утворення, штучне вирівнювання температурного поля, взаємна компенсація температурних деформацій відповідальних вузлів.

Розробляючи компоновку верстата, найбільш інтенсивні джерела теплоти (електродвигун головного приводу, гідроагрегати, резервуари з охолоджувальною і робочої рідинами) розташовують поза верстата на достатньому видаленні від нього. Джерела теплоти доцільно розміщувати в верхній частині верстата. Інтенсивні джерела можуть бути ізольовані від несучої системи. З цією метою електродвигун *1* головного приводу

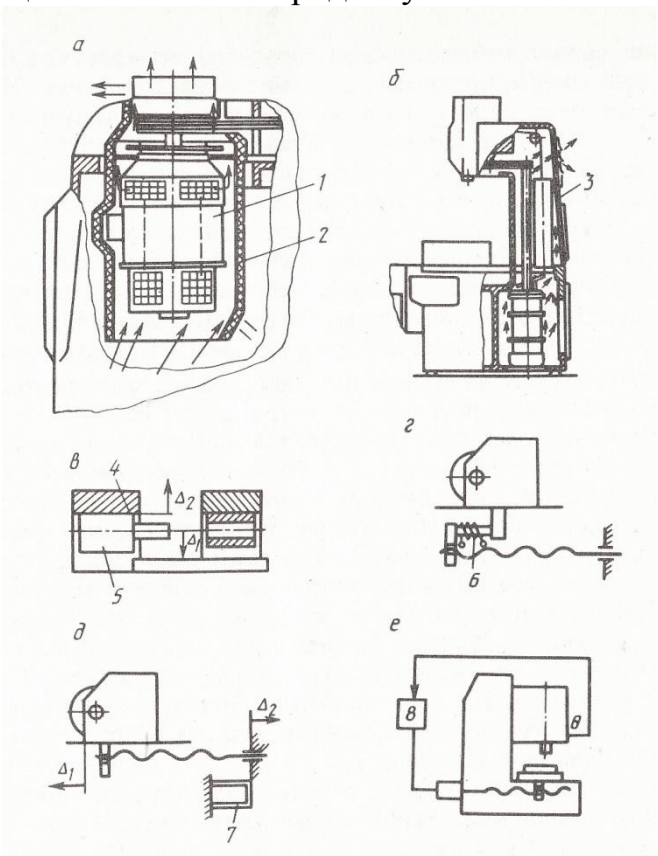


Рисунок2.3 – Способи зниження температурних деформацій верстатів

огороджують теплоізолюючим кожухом *2* (рис. 2.3, а) і постачають вентилятором, направляючий повітряний потік знизу вгору; між шпиндельною бабкою і стійкою верстата поміщають планки, виготовлені з матеріалу з низькою теплопровідністю; для відводу змащувально-охолоджувальної рідини передбачають канали з матеріалу з аналогічними властивостями. Проектуючи вузол, інтенсивні джерела теплоти розташовують на великій відстані від відповідальних поверхонь і симетрично щодо них. Останнє призводить до утворення в відповідальних деталях симетричного температурного поля і до мінімальних деформацій.

Зниження теплоутворення в приводах, передачах і опорах досягають наступними способами. Застосовуючи регульовані електродвигуни з високим коефіцієнтом корисної дії, зменшують кінематичні ланцюги. Використовують механізми кочення, гідростатичні, гідродинамічні. Оптимізують попередній натяг. Вбудовують в верстати ефективні системи змащування масляним туманом, маслоповітряною сумішшю, циркулюючі з дозованою подачею масла.

Інтенсивний відвід теплоти із зони її утворення дозволяє оберігати відповідальні деталі від значного нагрівання. Теплоту із зони різання відводять за допомогою змащувально-охолоджувальної рідини, що подається не тільки поливом, але і у вигляді високонапірного струменя, через тіло інструмента, Зовнішні поверхні корпусних деталей постачають ребрами. Забезпечують розбризкування масла на їх внутрішні поверхні. Велику частку теплоти, що виділяється в опорах кочення прецизійних шпинделів, відводився за допомогою теплових труб, циркулюючого охолодженого масла або повітря.

Вирішальний вплив на температурні деформації верстата надає змінність у просторі його температурного поля. Тому буває ефективним вирівнювання його за допомогою холодильної установки або нагрівального пристрою, встановлених в несучій системі. З цією ж метою використовують теплоту повітря, нагрітого електродвигуном. Наприклад, завдяки пропущенню теплого повітря по задній стінці стійки *3*, яка при роботі верстата нагрівача значно менше передньої, вдалося знизити температурні деформації координатно-розточувального верстата (рис. 2.3, б),

Підбір матеріалів з оптимальними теплофізичними характеристиками дозволяє звести до мінімуму температурні деформації відповідальних деталей. Із сплавів, подібних інвару (з коефіцієнтом лінійного розширення, складовим одну десяту коефіцієнта розширення сталі або чавуну), виготовляють ряд деталей несучої системи прецизійних верстатів, шкали вимірювальних систем. Для фундаментів верстатів іноді застосовують матеріали з коефіцієнтом лінійного розширення, близьким до того, який має матеріал станини. Деталі, що знаходяться в безпосередній близькості від інтенсивних джерел теплоти, для поліпшення тепловідведення виготовляють з матеріалів з високою теплопровідністю. Деталі, призначені для захисту від нагріву інших деталей, роблять із пластмас, порошкових та інших матеріалів з малою теплопровідністю.

Теплостійкість верстатів можна поліпшити використанням принципу взаємної компенсації температурних зміщень відповідальних вузлів. Так, завдяки зворотної базі *4* шпиндельної бабки *5* (рис, 2.3, в) її температурне розширення Δ_1 компенсується протилежним зміщенням Δ_2 бази. Керування базою інструменту реалізується, наприклад, коли подовження спеціально нагріваємого стержня *6* (рис, 2.3, г), з'єднаного з шліфувальною бабкою, і температурне подовження ходового гвинта спрямовані в протилежні сторони.

З цією ж метою опору ходового гвинта з'єднують з кришкою гідравлічної порожнини *7*, виконаної у вигляді мембрани. Тиск в порожнині регулюється (рис. 2.3, д).

Методи автоматичної компенсації температурних зміщень дозволяють виробляти корекцію положення інструмента або заготовки на основі вимірювання зміщень або температури в точці, знайденої дослідним шляхом, або виходячи з теоретичних передумов. Наприклад, автоматична система *8* виконує корекцію координатних переміщень столу за сигналами про температуру θ передньої опори шпинделя (рис. 2,3, е).

2.4 Забезпечення задовільних шумових характеристик

Шум металорізальних верстатів впливає на точність виконання працівниками завдань, ускладнює переробку інформації, знижує продуктивність праці і підвищує стомлюваність. Основними джерелами шуму в металорізальних верстатах є коробки швидкостей і подач, шпиндельні бабки, гідросистема, електропривод. Для поліпшення шумових характеристик металорізального верстата слід використовувати два шляхи: 1) підвищення точності виготовлення його деталей, якості складання та регулювання вузлів; 2) виявлення джерел звукової енергії, каналів, по яких передається значна її частина, і поліпшення характеристик цих каналів. Шум в зубчастих передачах виникає головним чином через похибки їх виготовлення і установки в механізмі, Похибки кроку коліс являються причиною ударів в моменти входу пари зубів у зачеплення і виходу з нього, тобто ударів з зубцеву частотою $f = nz/60$ (n і z – частота обертання і число зубів ведучого колеса).

Неперпендикулярність осі колеса його торцях, непаралельність або перекос осей коліс приводять до зміщення плями контакту і підвищенню динамічних навантажень в зачепленні. Занадто малий бічний зазор викликає заклинювання зубів, занадто великий – зниження демпфуючої здатності масляного шару на їх поверхнях. Так як коефіцієнт перекриття в зачепленні більше одиниці, частина повороту зубчастого колеса на один крок доводиться на зачеплення однієї пари зубів, інша – на зачеплення двох пар. Все це підвищує шум зубчастих передач.

Для зниження шуму коробок передач доцільно застосовувати косозубі передачі, зубчасті колеса з пластмаси в малонавантажених передачах при високій частоті обертання, а також колеса з бочкоподібними зубами. Крім того, необхідно забезпечувати достатню жорсткість валів, точність зубчастих коліс і корпусних деталей.

Причинами шуму підшипників кочення є відхилення робочих поверхонь кілець і тіл кочення від ідеальної геометричної форми, зазори між ними. Шум в кулачкових механізмах збуджується в результаті ударів, викликаних похибками виготовлення їх деталей. Шум в дискових фрикційних муфтах виникає в основному в моменти перемикання.

В результаті згинальних коливань валів звукова енергія від зубчастих коліс, муфт, підшипників, кулачків передається на корпус вузла (рис 2.4).

Внаслідок вібрацій стёнкі корпусу випромінюють підведену звукову енергію.

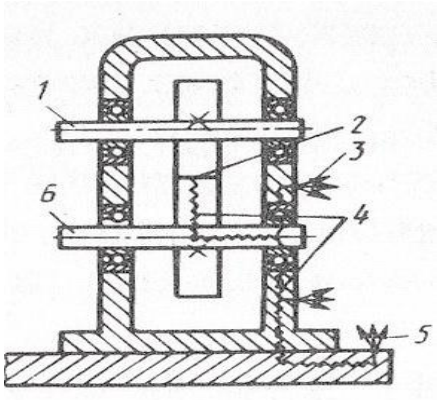


Рисунок 2.4 – Схема передачі звуку в зубчастому приводі:
1 – ведучий вал; 2 – місце збудження шуму і вібрації; 3 – первинне випромінювання звуку; 4 – звукова вібрація; 5 – вторинне випромінювання звуку; 6 – ведучий вал;

Якщо стінка має частоту коливань, рівну критичною, вона випромінює енергію майже без втрат. Критична частота коливань пластини

$$f = \frac{c^2}{2\pi}\sqrt{\frac{m}{B}},$$

де с – швидкість звуку в повітрі;
m – маса пластини, площа якої рівна одиниці;
В – згинальна жорсткість пластини.

Випромінююча здатність стінок і кришок стає мінімальною, коли частоти збуджуючих коливань не потрапляють в діапазон від 0,5f до 2f. Оскільки зазвичай більше 90% акустичної енергії механізму обумовлено звуковими коливаннями корпусу і тільки близько 10% припадає на повітряну складову, основним шляхом зниження шуму верстатів є зменшення шуму їх корпусів. Оскільки акустична потужність джерела (звукова енергія, яку випромінює джерелом в одиницю часу) пропорційна добутку площі коливної поверхні на середній по площі квадрат вібраційної швидкості, виміряної по нормалі до поверхні, перш за все необхідно зменшувати шум вузлів, що мають поверхні великої площі і високу віброшвидкість.

Якщо деталі або їх елементи (тонкостінні кожухи, кришки, стінки корпусних деталей) володіють малою жорсткістю і допускаються згинальні коливання їх поверхонь , то зменшення випромінюючої здатності досягається підвищенням їх згинальної жорсткості за рахунок зміни форми, застосування ребер. Якщо ж деталі коливаються як абсолютно тверді тіла, випромінююча здатність може бути зменшена завдяки зміні жорсткості їх кріплення, застосування кожухів або шумоізолюючих панелей. Таким чином, деталі, які є джерелами підвищеного шуму, необхідно ізолювати від решти деталей вузла (віброізоляція) або огородити їх кожухами (звукоізоляція).

Вимоги до шумових характеристик верстата регламентовані отгалузевим стандартом ОСТ 2Н89-40-75. Шум дослідних зразків верстатів оцінюють за октавними рівням звуковий потужності L_p (дБ) і корегованому рівню звукової потужності L_p (дБА), а шум верстатів одиничного і серійного провадження у L_{pA}. Допустимі рівні шумових характеристик верстата пов'язані з номінальною сумарною потужністю одночасно працюючих приводів. Для верстатів класів Н і П ці рівні приведені в табл. 2.1, для верстатів класів В і А табличні значення слід зменшувати на 3 дБ, для класу С – на 5 дБ.

Таблиця 2.1 – Допустимі рівні шуму верстатів

Сумарна номінальна потужність приводів кВт	Середньогеометрична частота октавних ліній, Гц								Корегований рівень звукової потужності L_{pA},дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Октавний рівень звукової потужності L_p,дБ								
до 1,5	98	89	83	80	77	75	73	71	82
1,5…4	103	96	91	88	85	83	81	80	90
4…12,5	107	101	97	93	91	89	87	86	96
12,5…40	112	106	102	99	97	95	93	92	102
Більше 40	117	112	108	105	103	101	99	98	108

2.5 Забезпечення надійності

Надійність верстата – це його властивість виконувати задані функції протягом певного терміну служби і в заданих умовах експлуатації. Надійність проявляється в безвідмовності, ремонтопридатності і довговічності. Безвідмовність – це властивість верстата безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу. Як показники безвідмовності прийняті: параметр потоку відмов (середнє число відмов в одиницю часу); напрацювання на відмову (середнє значення напрацювання між двома сусідніми відмовами); ймовірність безвідмовної роботи в інтервалі часу від пуску верстата до деякого випадкового моменту; встановлена безвідмовне напрацювання на добу (мінімальна безвідмовне напрацювання протягом доби, яке виміряється при повторних випробуваннях); встановлено безвідмовне напрацювання на тиждень (мінімальне безвідмовне напрацювання за тиждень, розраховується як сума безвідмовних напрацювань за добу і перевіряюча при інспекційних випробуваннях); встановлена безвідмовне напрацювання (наробок, протягом якого перехід верстата в зумовити не допустимо, перевіряюча при періодичних випробуваннях або підконтрольній експлуатації). За показники ремонтопридатності приймають середній час відновленння і ймовірність відновлення верстата протягом заданого часу.

Показниками довговічності верстата служать: встановлений ресурс до виходу його відповідного параметра за припустиму межу; встановлений ресурс до першого середнього або капітального ремонту; встановлений термін служби до першого середнього або капітального ремонту. Надійність верстатів і верстатних систем характеризують також комплексними показниками: коефіцієнтом готовності і коефіцієнтом технічного використання. Норми показників надійності верстатів випуску до 1996 р, встановлений галузевим стандартом [65] і наведені в табл. 2.2, відносяться до двох-змінному режиму експлуатації, а для гнучких виробничих модулів і багатоцільових верстатів – до тризмінного режиму. Норма коефіцієнта технічного використання відноситься до тижневого періоду експлуатації. При визначенні встановленого терміну служби до першого капітального ремонту та ресурсу по точності до першого середнього ремонту для верстатів з абразивним інструментом значення, наведені в табл. 2.2, слід помножити на 0,9. Є безлічі способів забезпечення надійності верстатного обладнання на стадії проектування необхідно відзначити наступні.

1. Застосування в проектованому виробі уніфікованих і стандартних елементів. Уніфікація являє раціональне скорочення числа видів і типорозмірів виробів однакового функціонального призначення. Уніфікують верстатні вузли, а також елементи і розміри деталей. Найбільша частка уніфікованих стандартних вузлів може бути включена в обладнення агрегатного типу: спеціальні верстати, автоматичні лінії, промислові роботи. Застосування принципу агрегатування дозволяє створювати устаткування високої надійності, так як уніфіковані агрегатні вузли виготовляються за передовою технологією і в результаті ретельних випробувань доводяться до необхідного рівня якості.

Таблиця 2.2 – Норми показників надійності верстатів

Найменування показника	Верстати з ручним керуванням	Верстати автомати і напів-автомати	Верстати з ЧПК	Гнучкі виробничі модулі
Встановлений термін служби до першого капітального ремонту,років (не менше), для верстатів масою:				
від 10т	10	7,5	7,5	6
від 10 до 100	12	9	9	7
більше 100	16	12	12	9,5

Встановлений ресурс по точності до першого середнього ремонту, тис.ч (не менше),для верстатів масою:				
від 10т	20	15	15	18
від 10 до 100	16	12	12	14
більше 100	22	16	16	19
Коефіцієнт технічного використання,не менше	0,91	0,87	0,81	0,76
Середній час відновлення,	8	12	12	14

2. Забезпечення структурної надійності. Автоматична лінія, верстат, будь-який вхідний в них вузли складаються з елементів. Під елементом розуміють частину системи, яка може характеризуватися самостійними вхідними і вихідними параметрами. Якщо система виходить з ладу при відмові будь-якого елемента, вона називається послідовною і може бути представлена у вигляді структури, зображеної на рис. 2,5, а. Якщо ймовірності безвідмовної роботи елементів 1, 2,…..n до моменту t рівні відповідно $p_1(t), p_2(t), \dots \dots p_n(t),$ то ймовірність безвідмовної роботи системи до цього моменту

$$p(t) = p_1(t)p_2(t) \dots \dots p_n(t),$$

З цієї залежності випливає, що для забезпечення необхідної надійності послідовності системи при збільшенні числа вхідних до неї елементів необхідно підвищувати їх надійність. Якщо система виходить з ладу тільки в разі відмови всіх її елементів, вона називається паралельною і може бути представлена у вигляді структур, зображеної на рис. 2.5,б. Ймовірність безвідмовної роботи паралельної системи незалежних елементів

$$p(t) = 1 - [1 - p_1(t)][1 - p_2(t)] \dots \dots [1 - p_n(t)]$$

Зі збільшенням числа елементів надійність паралельної системи підвищується. Спосіб підвищення надійності шляхом введення в систему елементів, надлишкових стосовно необхідним для виконання заданих функцій, називається резервуванням. Наприклад, при проектуванні автоматичних ліній передбачають резервні верстати або потоки (постійне резервування), автоматичну заміну зношених інструментів (резервування заміщенням). Гнучкі виробничі модулі іноді оснащують резервним інструментальним магазином.

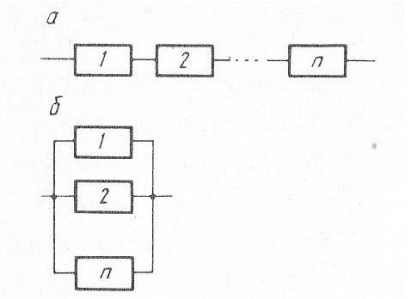


Рисунок – 2.5 Структура системи

3. Застосування систем технічного діагностування. Технічне діагностування здійснюється автоматичною системою, вбудованою в технічний об'єкт або підключаємий до нього періодично, і дозволяє визначити стан автоматичних ліній, верстатів та їх вузлів в процесі експлуатації. Технічне діагностування може виконуватися у вигляді: а) безпосереднього контролю потужності, подачі та інших вихідних параметрів об'єкта або їх функціональних залежностей та порівняння отриманих даних з еталонними; б) контролю працездатності об'єкта за непрямими признакам (наприклад, про знос деталей електромеханічного приводу можна судити за його акустичними характеристикам, про динамічному стані об'екта за його амплітудно-фазової частотної характеристиці, про правильність функціонування автоматичної лінії – за фактом відповідності її циклограмі проектної циклограмі і тд,),

4. Застосування конструкцій з зносостійкими елементами. Такими являються вузли з тертям кочення, гідростатичними, гідродинамічним, аеростатичним тертям. Високу зносостійкість мають зворотні пари тертя, вузли з виборчним переносом металу. З метою зниження швидкості зношування деталей вибирають зносостійкі матеріали (у тому числі порошкові і пластмаси), піддають поверхні деталей термічної і хімікотермічній обробці, а також поверхневому пластичному деформуванню. На відповідальні поверхні наносяться зносостійкі покриття

З метою зниження зношування деталей застосовують конструкції з рівномірним розподілом тиску на поверхнях тертя: з малою концентрацією тиску (зубчасті колеса малої ширини або розташовані на жорстких валах і симетрично щодо опор, вузькі підшипники); плаваючі або самоустановлювальні (гайки передач гвинт-гайка кочення);з елементами, мають кориговану форму (зубчасті колеса з бочкоподібними зубами)

5. Поліпшення умов тертя. З цією метою за допомогою ущільнень і захисних пристроїв поверхні деталей оберігають від забруднень. При ефективному їх змазуванні знижуються сила тертя, знос деталей, температури контактуючих поверхонь.

6. Застосування конструкцій, що допускають тонке регулювання зазорів і компенсацію зносу в умовах експлуатації зняттям металу з одного із контактуючих деталей (рис. 2.6, а), за допомогою гвинтів (рис. 2.6, б) , переміщенням клинів або конусних деталей (рис , 2.6, в), пружнім деформуванням деталей (рис.2.6, г).

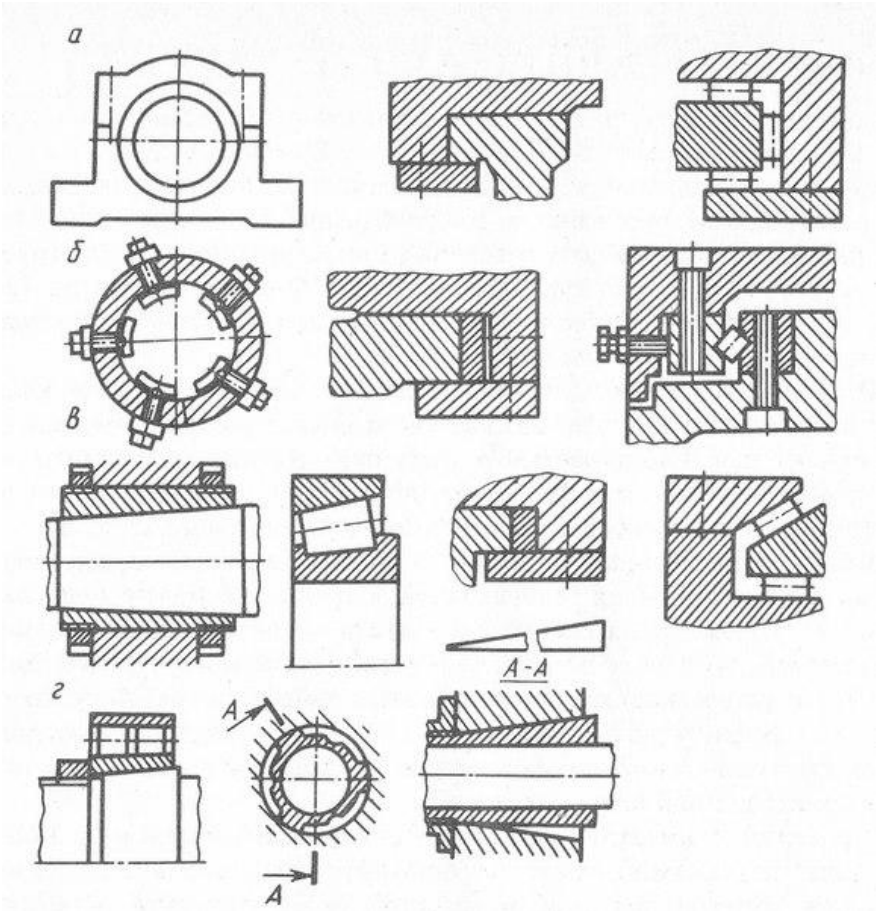


Рисунок 2.6 – Способи регулювання зазорів і компенсації зносу

7. Забезпечення ремонтопридатності. З цією метою за рахунок використання уніфікованих вузлів зменшують номенклатуру складальних одиниць; використовують системи технічного діагностування; забезпечують зручне обслуговування робочих позицій проектованого устаткування (достатня відстань між верстатами автоматичної лінії, налагоджувальні пульти поблизу робочих позицій і т.д.); раціонально поділяють конструкцію на елементи (збірні зубчасті колеса, швидкозамінні елементи, якщо вони часто виходять з ладу); забезпечують зручне виконання складально-розбірних робіт при заміні елементів завдяки їх формі, що допускає зручне захоплення, достатність простору близько елемента, гарної видимості, невеликим зусиллям при витягуванні елемента і т.д.

Література
основна:

Агрегатно-модульне технологічне обладнання: Навчальний посібник: У 3-х частинах / Під ред. Ю. М. Кузнєцова. – Кіровоград. – 2003.

Справочник-учебник. В 3-х т. Т. 2: Проектирование станков / А. С. Проников, О. И. Аверьянов, Ю. С. Аполлонов и др.; Под общ. ред. А. С. Проникова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана: Машиностроение, 1994. - 371 с.

додаткова:

Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных ВТУЗов/В.Э. Пуш и др. М.: Машиностроение, 1986 – 526 с.; ил.

Контрольні запитання

1. Що таке надійність верстата?
2. Що таке відмова?
3. Що таке безвідмовність верстата?
4. Чому дорівнює ймовірність безвідмовної роботи?
5. Як оцінити відмови, пов'язані зі зношуванням елементів верстата?
6. Що є комплексним показником надійності верстатів?
7. Як оцінити фактичну продуктивність у порівнянні з номінальним значенням продуктивності?
8. Що таке довговічність верстата?
9. Що таке ремонтопридатність?
10. Що таке технічний ресурс?
11. Як оцінити надійності складної системи?
12. Як пов'язані діагностування та надійності верстатів і верстатних систем?
13. Які заходи доцільно вжити для підвищення надійності верстатів і автоматичних верстатних систем?
14. Що таке геометрична точність?
15. Що таке кінематична точність?
16. Чим характеризує жорсткість (податливість) вузлів верстата?
17. З чим пов'язана вібростійкість верстата?
18. Джерела і характеристики коливань у верстатах?
19. Що таке теплостійкість?
20. З чим пов'язана точність позиціонування?
21. Поясніть наявність зв'язку між похибками оброблених деталей і способом обробки на прикладах.
22. Що істотно впливає на точність верстата?
23. Що таке жорсткість верстата?
24. Назвіть основні конструктивні способи підвищення жорсткості верстатів?
25. До чого призводить нагрівання елементів верстата?
26. Які методи зниження температурних деформацій слід застосовувати при розробці конструкції верстата?
27. Поясніть як можна поліпшити теплостійкість верстатів використовуючи принцип взаємної компенсації температурних зміщень відповідальних вузлів?

3 ФОРМУВАННЯ КОМПОНОВКИ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

3.1 Загальні відомості про принципи формування компоновки верстатів

На основі прийнятої кінематичної структури верстата розробляється компоновка верстата як один з етапів його проектування. У даному випадку мова йде про необхідність чіткого уявлення про компоновку верстата з метою можливості виконання налаштування і налагодження верстата за результатами кінематичного аналізу і розрахунку параметрів.

Компоновка верстата – це система розташування вузлів і напрямних верстата, що характеризується структурою, пропорціями і властивостями.

Компоновку, яка розкриває склад і порядок поєднання координатних рухів у верстаті, називають координатною.

Компоновка металорізального верстата забезпечує виконання всіх елементарних рухів формоутворення і передбачає можливість здійснення ряду додаткових рухів: врізання, настановних, поділу, допоміжних та інших.

Компоновка металорізального верстата має блокову структуру і складається з одного стаціонарного та кількох рухомих блоків, розділених лінійними або круговими напрямними. Кожен рухомий блок виконує певний координатний рух. Число направляючих дорівнює числу елементарних рухів, передбачених кінематичною структурою верстата, або менше цього числа.

Верстат, будучи складовою частиною замкнутої технологічної системи, є системою розімкнутою. Блоки, що утримують заготовку і інструмент, в компоновці верстата завжди є крайніми. Ці блоки здійснюють відносний рух заготовки та інструменту, що відповідає прийнятому способу утворення.

Структурна формула компоновки – це певна послідовність символів, що позначають блоки компоновки, яка розкриває координатну приналежність і спосіб сполучення блоків. У структурних формулах використовують систему позначення осей координат і координатних рухів, призначену для металорізальних верстатів з програмним керуванням (рис. 3.1).

Вісь *Z* завжди поєднується з віссю обертання шпинделя. За позитивний напрямок осі *Z* приймається напрямок від вузла кріплення заготовки до вузла кріплення інструменту. Це правило є основним при виборі позитивного напрямку і відповідає переміщенню інструменту. Якщо ж на верстаті переміщується заготовка, то позитивним напрямком буде напрямок *Z'*, протилежний *Z* (аналогічно з іншими осями).

Таким чином, переміщення вузла на збільшення розміру є позитивним напрямком. Вісь *X* – завжди розташовується горизонтально. Якщо вісь *Z* вертикальна, то позитивний напрямок осі X буде вправо, якщо дивитися з лицьового боку верстата в сторону тильної (рис. 3.2).

Якщо вісь *Z* горизонтальна, то позитивний напрямок осі *X* буде направлено вправо, якщо дивитися в напрямку від шпинделя до заготовки. Положення осі *Y* визначається по розташуванню двох інших осей. *X* і *Y*

незалежно від розташування осі шпинделя позначають найбільш поширену площинну обробку заготовки (рис. 3.3).

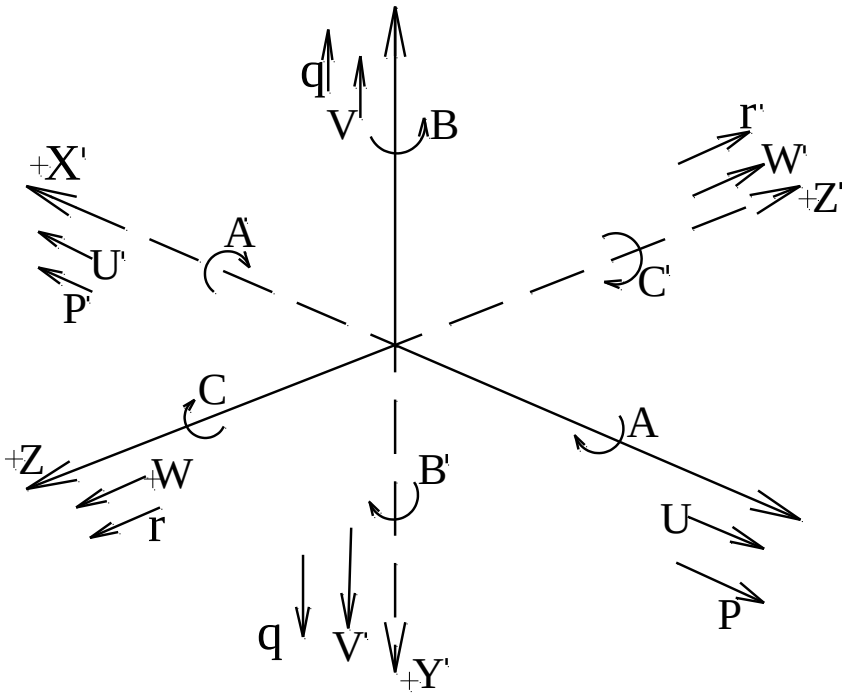


Рисунок 3.1 – Позначення координатних осей та рухів

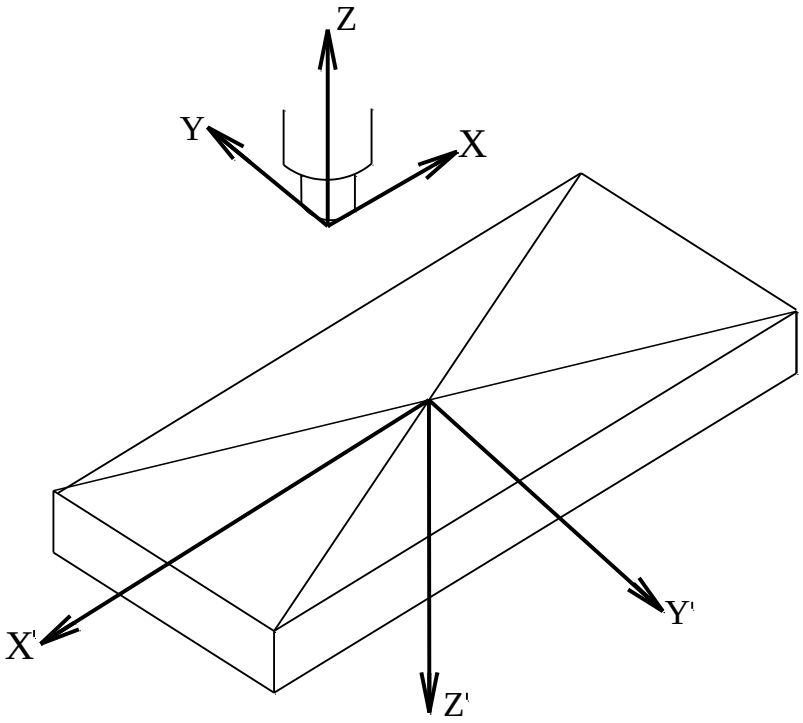


Рисунок 3.2 – Позитивні напрямки осей для верстата з вертикальною віссю обертання шпинделя

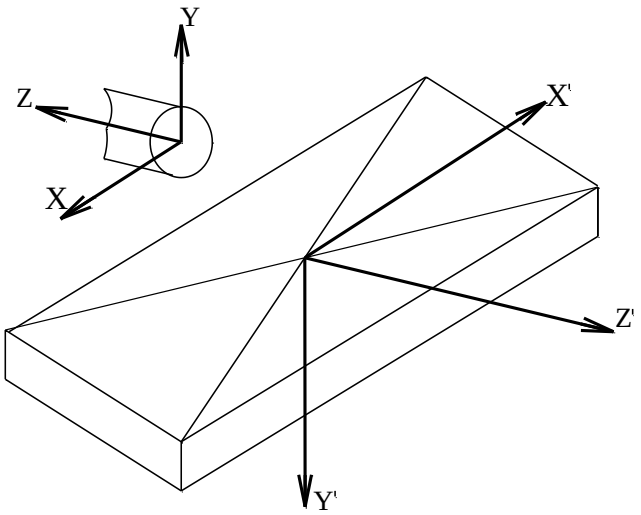


Рисунок 3.3 – Позитивні напрямки осей для верстата з горизонтальною віссю обертання шпинделя

Поступальний рух інструмента уздовж осей координат позначають так само, як і відповідні осі. Додаткові рухи (вторинні), паралельні осям *X, Y* і *Z* (рис. 2.1), позначають відповідно *U, V, W* (*u, v, w*). Третинні руху, паралельні осях *X, Y* і *Z*, позначають відповідно *P, Q, R* (*p, q, r*). Обертальні рухи навколо осей позначають відповідно літерами A, B, C (a, в, c). Обертання шпинделя позначають літерою *C*, причому для вертикального виконання шпинделя – буквою C_v, для горизонтального – C_h. Стаціонарний блок позначають літерним символом *O*.

Структурна формула записується, починаючи з вузла, який утримує заготовку і закінчуючи вузлом, який утримує різжучий інструмент. На рис. 3.4 показані найбільш широко поширені компоновки металорізальних верстатів.

Компоновці вертикального консольно-фрезерного верстата (рис. 3.4, а) відповідає структурна формула $XYZOC_v$, в яку входять позначення послідовно сполучених блоків: столу X, направляючих *Y*, консолі *Z*, станини *O* і вертикального шпинделя C_v. У формулі *COZXвwd* компоновки токарного верстата (рис. 3.4, б) малими літерами позначені установочні блоки: поворотні паравляючі супорта (*в*), верхня каретка супорта (*w*) і поворотний різцетримач (*d*). У формулі D_vuOX компоновки зубодовбального верстата (рис. 3.4, в) у вигляді дробу записано штосель (шпиндель довбача), що здійснює обертальний C_v і поступальний рухи. У формулі агрегатного свердлильного верстата (рис. 3.4, г) з поворотним столом, вертикальною і двома горизонтальними багатошпиндельних головками

$$d_vOZ4C_v + d_vOY5B_h + d_vOX3A_n = d_vO(Z4\ C_v + Y5B_h + X3A_n)$$

цифри вказують на число паралельних шпинделів з однаковим характером рухів. Поворотний стіл d_v і стаціонарний блок *O* є загальними для всіх головок, тому вони винесені за дужки.

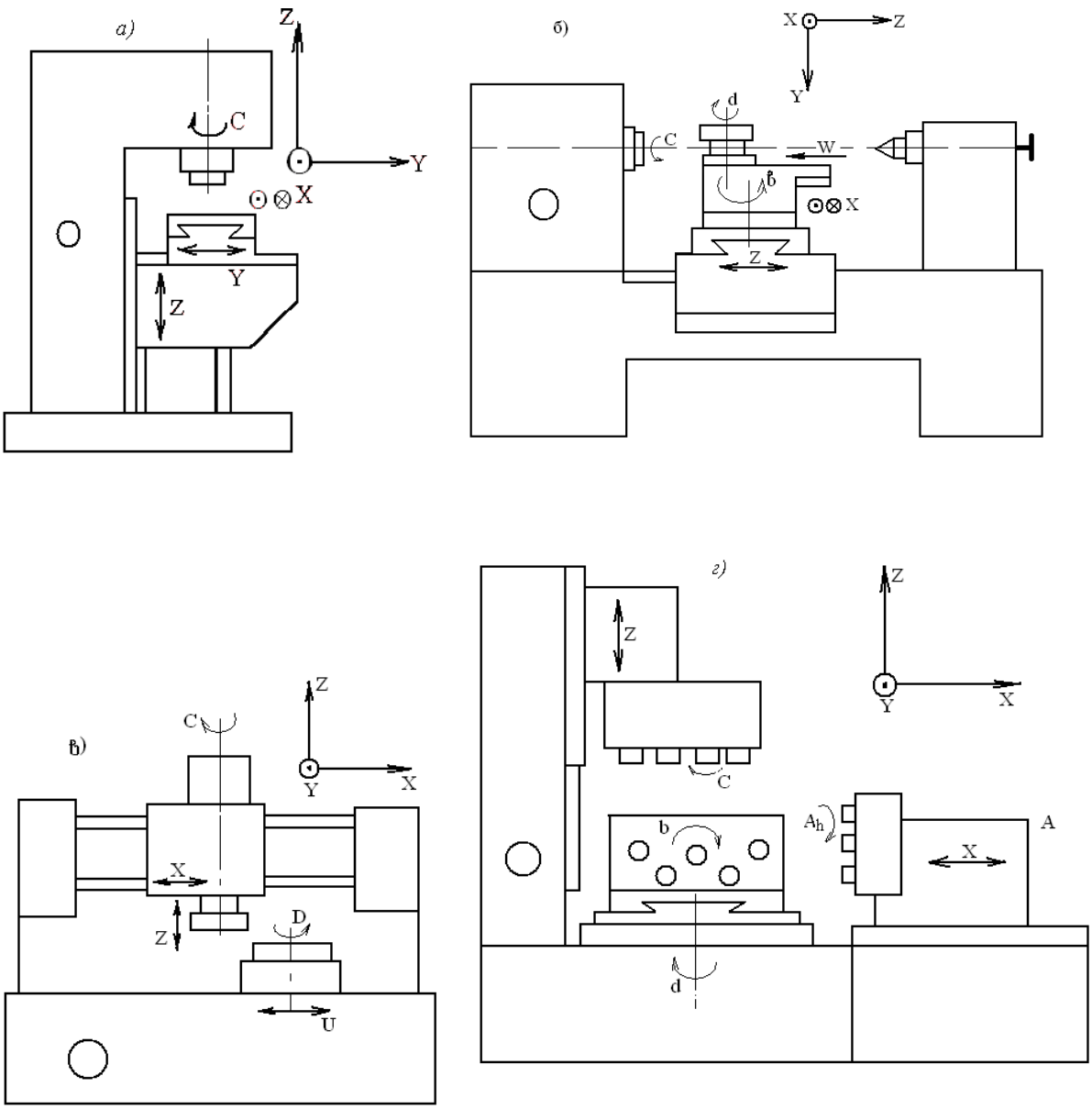


Рисунок 3.4 – Приклади компоновок верстатів

3.2 Фактори, що впливають на вибір компоновки верстата

Умови виробництва на заводі-споживачі, який замовив верстати, включають технологічні умови, пов'язані з особливостями оброблюваних деталей, умови серійності виробництва і комплексної автоматизації.

Деталі, які обробляються на фрезерно-свердлильно-розточувальних багатоопераційних верстатах, досить різноманітні.

Перш за все слід розрізняти деталі за розміром. Малі та середні деталі – важелі, планки, невеликі кришки і корпуси, що вимагають для обробки невелике число інструментів, зручніше обробляти на верстатах вертикальної

компоновки. На столі верстата можна встановити два-три пристосування для перебазування деталі або поворотні пристрої з горизонтальною віссю, чим забезпечується обробка деталі з усіх боків. Для малих і відносно простих деталей розміри столу повинні допускати можливість установки декількох однакових деталей або комплекту з метою збільшення часу автоматичної роботи верстата.

Великі і важкі деталі доцільно обробляти на верстатах з горизонтальною компоновкою. На них зручніше здійснювати спостереження за обробкою, легше видаляти стружку, поворотний стіл з вертикальною віссю дозволяє обробити деталь з чотирьох сторін. Це відноситься до деталей кубоподібної або близькою до кубу форми, яка має достатню жорсткість і які серед корпусних деталей становлять більшість.

Довгі, плоскі і нежорсткі деталі типу рам, плит, тонких кришок зручніше встановлювати і обробляти на верстатах вертикальної компоновки. Порівняно довгі, але жорсткі деталі можна обробляти на верстатах з горизонтальним шпинделем і столом достатньої довжини, якщо вбудований круглий поворотний стіл, який при цьому не використовується, виконаний на одному рівні з рештою поверхні прямокутного столу і не заважає закріпленню деталі або установці затискного пристосування. Таким чином, для більшості великих і важких деталей найбільш широко застосовується горизонтальна компоновка.

Чим більша деталь, тим менше рухів їй надають у компоновці: від компоновок, в яких всі рухи (крім обертання інструментального шпинделя) виконує оброблювана деталь (консольні верстати), до компоновок з двома горизонтальними рухами деталі (безконсольні верстати), потім до компоновок з одним поздовжнім переміщенням деталі (поздовжні верстати) і, нарешті, до компоновок з рухомою колоною або порталом, в яких деталь при обробці нерухома.

Технологічні особливості оброблюваних деталей впливають на вибір компоновки як за складом необхідних рухів і режимам рухомих блоків, так і по визначеним вимогам до компоновочних факторів якості.

Корпусні та інші деталі, які потребують криволінійної контурної і об'ємної обробки фрезеруванням з програмним керуванням в прямокутній системі координат, не пред'являють до компоновки особливих вимог, за винятком вимоги однакової податливості в різних координатних напрямках, особливо в напрямках x та y. У компонувках це досягають підбором відповідних компонувальних факторів.

Корпусні деталі, що мають похилі площини і отвори, вимагають включення в компоновку похилих столів або поворотних головок з аксіально-рухомим шпинделем. Для деталей середнього розміру переважним є застосування столів, що нахиляються, адже при цьому не ускладнюються пристрої автоматичної зміни інструментів. Для деталей великих розмірів поворотні столи, що одночасно можуть нахиляються часто виявляються недостатньо жорсткими. В цьому випадку у вітці інструменту необхідно застосовувати поворотні направляючі з повзунковими шпиндельними головками. В обох випадках як при столі, що нахиляється, так і при поворотній

головці (за умовами конструкції) – поворот відбувається навколо точки, яка не співпадає з центром деталі або кінцем шпинделя. Тому потрібні додаткові поперечні і вертикальні переміщення та компоновку слід вибирати з врахуванням можливості збільшення відповідних ходів.

Найбільш поширені деталі з простим ортогональним розташуванням оброблюваних площин і отворів, однак і в цьому випадку слід розрізняти особливості деталей, що здійснюють вплив на вибір компоновки. Для деталей, що мають довгі і точні отвори, бажано (для можливості чистового розточення різцем), щоб компоновка забезпечувала сталість податливостей K_x і K_y при переміщенні уздовж осі z і приблизна рівність цих податливостей між собою. Остання вимога має значення і для деталей, що мають короткі, але точні отвори на зовнішніх стінках.

Деталі з високими вимогами до площинності поверхонь, що обробляються торцевими фрезами, бажано обробляти на верстатах, компоновка яких забезпечує приблизну сталість податливості K_z по всьому робочому полю.

Багато з перерахованих вимог до компоновки визначають із статистичного аналізу потенційних оброблюваних деталей і задовольняють підбором схем спряження напрямних та інших компонувальних факторів.

Вимоги до вибору розташування в компоновці магазину інструментів і пов'язані з цим особливості автоматичної зміни інструментів (АЗІ) ґрунтуються на тому, що положення магазину в компоновці в деяких випадках однозначно визначається конструктивним типом пристрою, а в інших випадках завдяки автооператору може мати кілька варіантів. Відомі верстати, в яких автооператори здійснюють складні рухи, обумовлені вибором місця розташування магазину.

Проте розташування магазину інструментів у компоновці пов'язане з питаннями технології та експлуатації верстата і має бути розглянуто у світлі наступних загальних вимог до пристроїв АЗІ: 1) скорочення числа координатних рухів вузлів при АЗІ; 2) максимальне суміщення часу АЗІ з роботою верстата; 3) скорочення координатної установки по осях x і y при АЗІ, що забезпечує співвісність поверхонь при обробці отвору різними інструментами; 4) відсутність впливу маси інструментів у магазині на точність верстата; 5) зручність обслуговування магазину під час роботи верстата; 6) зручність і безпека спостереження за обробкою, для чого непрацюючі інструменти не повинні закривати простір, через який ведеться спостереження; 7) зменшення забруднення магазину, для чого його не слід розташовувати поблизу зони різання; 8) магазин не повинен збільшувати площу, яку займає верстат; 9) можливість збільшення ємності магазина без істотного впливу на конструкцію інших вузлів верстата; 10) можливість незалежного агрегатного виконання магазину (для поставки верстатів з АЗІ та без неї) та інші вимоги.

Умови серійності і комплексної автоматизації виробництва можуть здійснювати істотний вплив на вибір компонувань багатоопераційних верстатів.

Багатоопераційні верстати, що працюють в умовах підвищеної серійності, оснащують змінними багатошпиндельних головками, що істотно прискорює

обробку груп отворів. Для цього в компонуванні деяких верстатів передбачають спеціальний шпиндель, що завантажується багатошпиндельними головками з окремого магазину автоматично або вручну. Цей же шпиндель можна використовувати для великих торцевих фрез та інших важких інструментів. Основний шпиндель верстата при цьому роблять більш легким і швидкохідним.

Двошпиндельні компоновки багатоопераційних верстатів здійснюють і з іншими цілями: виділяють окремий шпиндель для найбільш точних розточувальних операцій; компоновку з горизонтальним шпинделем доповнюють шпинделем вертикальним для прискорення обробки деталей з п'яти сторін; додають шпиндель, що утримує плансупорт для торцевого підрізання з програмним керуванням. Останній випадок відноситься до тяжких верстатів, що працюють в умовах дрібних серій і одиничного виробництва, і має на меті не тільки розширення технологічних можливостей верстата, але і скорочення номенклатури інструментів, оскільки плансупорт може бути використаний для установки радіального розміру розточувальних оправок.

Деякі переваги двошпиндельних компоновок супроводжуються, разом із тим, ускладненням конструкції верстата, ускладненням програмування та обслуговування, постійним недовикористанням механізмів, оскільки одночасна робота шпинделів при координатній обробці неможлива.

Для багатоопераційних верстатів середнього розміру в умовах серійного виробництва бажаним є використання компоновки з пристроями автоматичної зміни заготовок, що забезпечують додаткове підвищення продуктивності верстатів.

Під умовами комплексної автоматизації розуміють використання верстатів в автоматичних обробних комплексах і лініях з програмним керуванням і в автоматичних ділянках з керуванням від ЕОМ. Вплив цих умов на вибір компоновки залежить від способу транспортування деталей і від можливості обробки деталей в автоматичній лінії одночасно з двох сторін.

Автоматичні технологічні системи з програмним керуванням, що включають багатоопераційні верстати, можуть не мати жорсткого (синхронного) транспорту деталей, однак спосіб поєднання транспортних пристроїв з автоматичним завантаженням верстата повинен бути найбільш простим. Це досягається в компоновках з нерухомим (або тільки поворотним) столом, в яких всі рухи формоутворення здійснює інструмент.

У компоновках, де оброблювана деталь рухома в двох-трьох напрямках, підвищується час зміни заготовок, ускладнюється програмування і знижується надійність пристроїв автоматичного завантаження верстатів.

Нерухомість деталі при обробці дозволяє використовувати в автоматичній лінії двосторонні верстати та обробляти деталі одночасно двома інструментами.

Крім умов майбутньої експлуатації верстата на вибір компоновки впливають умови проектування і виготовлення цього верстата. Звичайно, побудова компоновки з урахуванням цих останніх умов не повинно бути зроблена на шкоду основним вимогам експлуатації верстата.

Найбільший техніко-економічний ефект може бути отриманий розробкою єдиної гами багатоопераційних верстатів, що виключає дублювання типажу і враховує найважливіші особливості потенційних оброблюваних деталей.

Випробуваний шлях економії при створенні гами верстатів – уніфікація і агрегатування компоновок. Агрегатування дозволяє врахувати різноманітні умови виробництва у замовників верстатів, створювати оптимальні компоновки при мінімальній номенклатурі вузлів у виробництві.

Література

основна:

О.И. Аверьянов , Г.И. Аверьянова и др. Компоновки металлорежущих станков. –М.: Изд-во МГИУ, 2007. – 168с.

додаткова:

А. С. Проников, Е. И. Борисов, В. В. Бушуев и др.; Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник: В 3-х т. Т. 2; Ч.1 : Расчет и конструирование узлов и элементов станков – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, Машиностроение, 1995. 371 с. : ил.

Контрольні запитання

1. Що таке компоновка верстата?
2. Як впливає на вибір компоновки верстата розмір деталі?
3. Як впливає на вибір компоновки верстата форма деталі?
4. Які особливості вибору компоновок верстатів, що працюють в автоматичних обробних комплексах?
5. Назвіть основні вимоги до вибору розташування в компоновці магазину інструментів?

4. ПРИВОДИ ВЕРСТАТІВ

4.1 Приводи головного руху

4.1.1 Призначення, основні вимоги та класифікація

Джерелами руху в цьому приводі можуть бути асинхронні електродвигуни, в тому числі і високошвидкісні, електродвигуни постійного струму, гідродвигуни у вигляді оборотних гідронасосів для обертального і у вигляді гідроциліндрів для поступального руху.

Настроювальний орган приводу, що дозволяє регулювати параметри головного руху, може складатися з різних елементів, що забезпечують ступеневу і безступінчасте регулювання, тобто регулювання, при якому додаткова ланка отримує кілька різних значень частот обертання або числа подвійних ходів в заданих межах, наприклад, n_1, n_2 n_3 ... n_z або будь-яке значення в межах n_1 ... n_z .

Найбільш поширені елементи приводу для ступінчатого регулювання показано на рис. 4.1, рис. 4.2 і рис. 4.3.

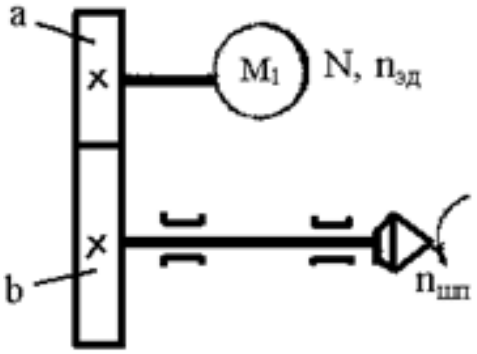


Рисунок 4.1 – Регулювання з допомогою змінних зубчатих коліс

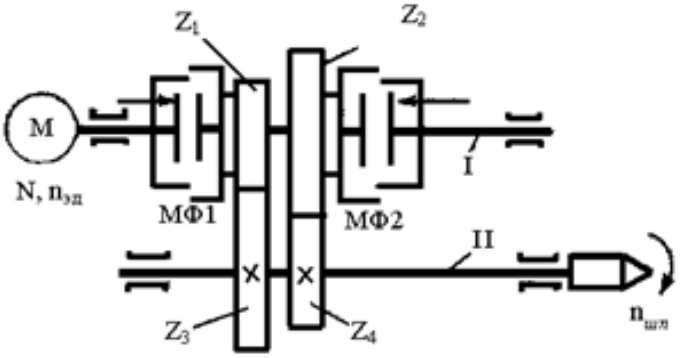


Рисунок 4.2 – Регулювання з допомогою зубчатих коліс і муфт

Регулювання може здійснюватися гітарами змінних зубчастих коліс «a», «b» (рис. 4.1), як у багатьох моделях зубооброблювальних верстатів.

Основною перевагою такого привода є простота. Однак його застосування доцільно лише в тому випадку, коли не потрібно частих перемикань, так як час, потрібне на налаштування, порівняно велике.

Ступеневе регулювання можна здійснювати за допомогою муфт і зубчастих коліс, що знаходяться в постійному зачепленні (рис. 4.2).

При включенні муфти МФ1 вліво крутний момент передається на шпиндель через пару z_1/z_3, а при включені вправо – через пару z_2/z_4. Тут можуть застосовуватися як кулачкові, так і фрикційні муфти, керовані вручну, від електромагніту або від гідравліки. Такий спосіб перемикання дозволяє автоматизувати його. На основі муфтами перемикання створені автоматичні коробки швидкостей (АКШ), що застосовуються у верстатах з ЧПК.

В приводах головного руху верстатів широко застосовується регулювання за допомогою пересувних блоків зубчастих коліс (рис. 4.3).

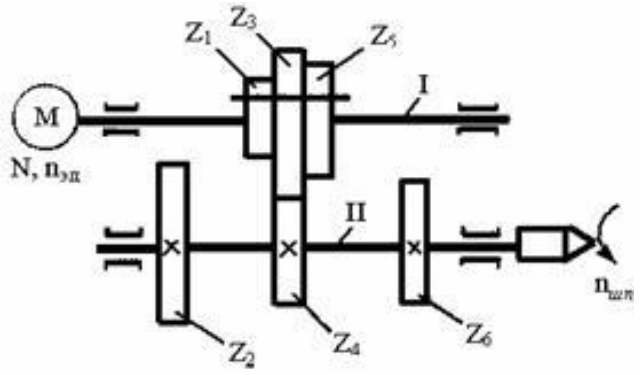


Рисунок 4.3 – Регулювання з допомогою передвижних блоків зубчатих коліс

Блок коліс z_1, z_2 і z_5 тому переміщатися на ковзної шпонці або по шліцам уздовж осі валу I і забезпечити почергове зачеплення z_1/z_2 ; z_3/z_4 ; z_5/z_6 .

Перемикання рухомими блоками коліс застосовується в коробках швидкостей токарних, свердлильних, фрезерних та інших верстатів.

В ряді випадків в приводі головного руху застосовується поєднання з перерахованих пристроїв.

При безступінчастому регулювання частоти обертання в приводі головного руху застосовують електродвигуни постійного струму, що володіють, однак, тим недоліком, що при невеликому діапазоні регулювання, який визначається як відношення $d = n_{max}/n_{min}$, потребують пристроїв для перетворення змінного струму, яким забезпечуються промислові підприємства, в постійний.

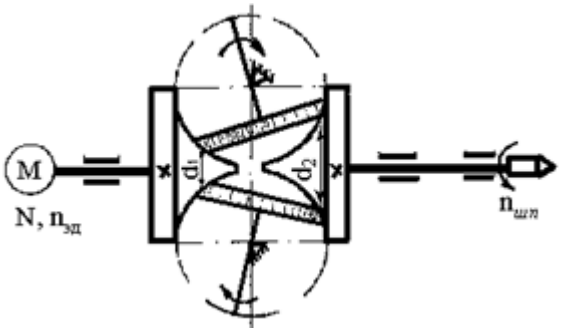


Рисунок 4.4 – Торовий варіатор

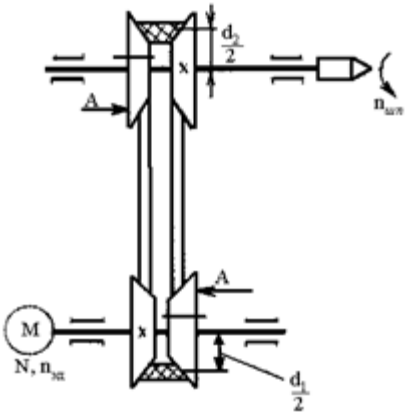


Рисунок 4.5 – Клиноремінний варіатор

Для безступінчастого регулювання у верстатах широко застосовують варіатори, принцип дії і пристрій яких відомі з курсу «Деталі машин».

Найбільш широко в приводах головного руху використовуються торові варіатори (рис. 4.4) і клиноременні з розсувними шківами (рис. 4.5).

Діапазони регулювання у варіаторів невеликі: $D_{вар}$ = 4 ...10, тому в приводах верстатів варіатори застосовуються в поєднанні зі ступінчастою коробкою швидкостей, що дозволяє забезпечити заданий діапазон регулювання. Структура такого приводу представлена на рис.6.

При включення понижувальної передачі в коробці швидкостей за допомогою варіатора можна змінити безступінчато частоту обертання шпинделя від n_1 до $n_2 = n_1 \cdot D_{вар}$.

При включенні на іншу, наприклад, підвищену, передачу в коробці швидкостей, можна одержати плавне регулювання в межах від n_2 до $n_z = n_2 \cdot D_{вар}$, забезпечивши таким чином всі значення частот обертання в межах від n_1 до n_z плавно і загальний діапазон регулювання $D = D_{вар}$.

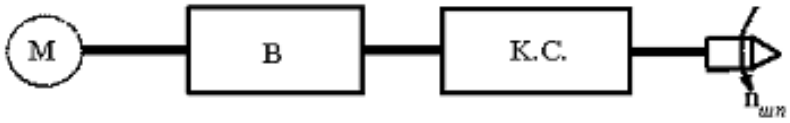


Рисунок 4.6 – Структура привода з варіатором (В) и коробкою швидкостей (КШ)

У ряді випадків безступінчасте регулювання в приводі головного руху забезпечується за допомогою гідроприводу. На рис. 4.7 показана схема роботи силового циліндра, який може бути використаний в протяжних і стругальних верстатах.

Масло від насоса по трубопроводах через розподільник 4 надходить у ліву порожнину циліндра 1, створюючи тиск, переміщує поршень 2 зі штоком вправо.

Масло з правої порожнини зливається в бак. При зміні положення розподільника переміщенням вліво (положення зображено штрихами) масло від насоса починає надходити в праву порожнину циліндра, а з лівої – зливатися в бак.

Змінюючи об'єм рідини, що надходить у робочу порожнину циліндра в одиницю часу, можна плавно регулювати швидкість руху поршня $П_1$.

Керування перемиканням в приводі головного руху здійснюється або вручну, або автоматично.

Для ручного перемикання кожен перемикаючий елемент - пересувний блок, муфта, розподільник і ін. – з'єднується з рукояткою керування, зміна положення якої веде до переміщення перемикається елемента в потрібну позицію.

При автоматичному керуванні перемикання здійснюється за допомогою пружин, електромагнітів або гідравліки, включаються в роботу за заданою програмою.

На рис. 4.8 показана схема перемикання фрикційної муфти від кулачка.

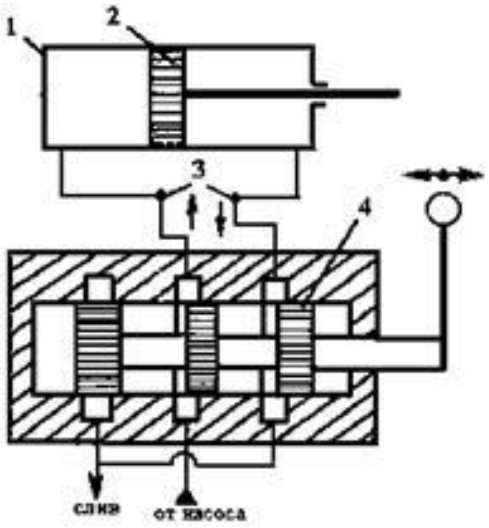


Рисунок 4.7 – Регулювання з допомогою гідропривода

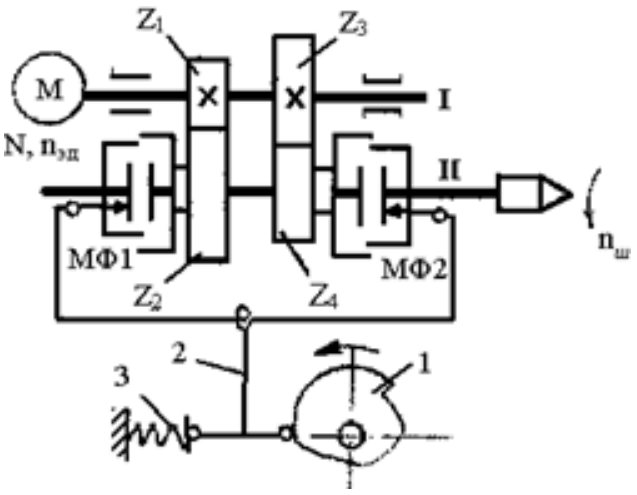


Рисунок 4.8 – Керування фрикціонними муфтами за допомогою кулачка

При обертанні кулачок 1 впливає на нижній кінець важеля 2 і, стискаючи пружину 3, переміщує його вліво. При подальшому обертанні кулачка пружина 3 спочатку поверне важіль у вихідне положення, забезпечуючи включення муфти МФ1 то вправо, то вліво.

Основні вимоги, що пред'являються до приводів головного рухи:

- зміна частот обертання на виконавчому ланці - шпинделі в діапазоні регулювання частот обертання приводу,
- необхідні для процесу різання потужність і крутний момент,
- включення, вимикання, а також, якщо це необхідно, гальмування і реверсування обертання шпинделя .
- висока точність і плавність обертання шпинделя,
- мінімальні втрати на тертя, тобто високий ККД приводу,
- висока надійність приводу,
- зручність керування.
- простота і мінімальна вартість виготовлення і експлуатації.

4.1.2 Особливості головних приводів верстатів з ЧПК

Основна перевага приводів головного руху багатоопераційних верстатів полягає в можливості дистанційної автоматичної зміни частоти обертання шпинделя, яке здійснюється завдяки керуванню приводом від системи ЧПК. На цих верстатах виконується чорнова і чистова обробки поверхонь різних розмірів, марок матеріалів, використовується різноманітний ріжучий і допоміжний інструмент. Все це призводить до необхідності забезпечення широкого діапазону регулювання частот обертання шпинделя. Висока вартість багатоопераційних верстатів і потреба в максимальній інтенсифікації обробки, тобто в забезпеченні більшої товщини зняття оброблюваного матеріалу за одиницю часу і скорочення машинного часу обробки деталі, вимагають застосування приводних двигунів більш високої потужності, ніж у головних приводах універсальних верстатів.

Крім виконання комплексу технологічних команд конструкція приводу головного руху, і насамперед шпиндельного вузла, повинна забезпечувати тривале збереження точності обертання шпинделя, а також сумарну жорсткість, що виключає неприпустимі, з точки зору потрібної точності обробки, механічні деформації.

До приводів головного руху пред'являють, крім того, такі вимоги:

- відповідність діапазону регулювання частотам обертання шпинделя, необхідним для здійснення швидкохідних чистових операцій (з частотами обертання понад 500 об/хв), попередньої обробки та позиціонування шпинделя;
- забезпечення довготривалої роботи при використанні номінальної потужності; забезпечення безступінчастого регулювання частоти.
- обертання, як можливо, меншого числа механічних передач;
- забезпечення мінімального часу розгону і гальмування з метою зведення до мінімуму втрат часу при різьбонарізанні і позиціонуванні шпинделя в режимі орієнтованої зупинки.

До складу приводу головного руху входять двигун приводу, коробка передач, приводний вал якої з'єднаний з двигуном муфтою, і шпиндельний вузол. Конструкції приводів головного руху та елементів, входять до них – постійно удосконалюються з метою підвищення рівня автоматизації виконання технологічних команд, продуктивності, надійності роботи і діапазону регулювання частоти обертання.

Приводи головного руху мають наступні функціональні ознаки: рівень частот обертання шпинделя, вид привода, компоновка і конструкція шпиндельного вузла. Рівень частот обертання залежить від типу верстата, його розмірів, особливостей і можливостей застосування. Розрізняють нормальний (до 3000 об/хв), підвищений (до 4000 ... 6000 об/хв) і високий (до 10 000 об/хв і більше) рівні частот обертання.

У багатоопераційних верстатах в якості основних способів забезпечення головного руху використовуються:

- перемикання передач за допомогою пересувних зубчастих коліс і їх блоків; змішані перемикання за допомогою пересувних і змінних коліс; перемикання за допомогою електромагнітних фрикційних муфт;
- зміна частоти обертання шпинделя за допомогою багатошвидкісних двигунів і перемикання електромагнітних муфт;
- безступінчасте регулювання двигунів змінного струму зміною частоти струму живлення і двигунів постійного струму.

Таким чином, в приводі головного руху застосовуються нерегульовані і регульовані двигуни. При використанні нерегульованих двигунів частота обертання шпинделя змінюється східчасто завдяки використанню коробки передач складної структури. Асинхронні електродвигуни найбільш надійні і прості в експлуатації, витримують високі навантаження, не вимагають застосування перетворювачів і спеціальних підсилювачів, мають порівняно невеликі габаритні розміри і масу.

Недоліками використання таких електродвигунів є необхідність застосування багатоступеневих коробок передач для зміни частоти обертання, складність автоматизації команд керування від ЧПК і обмеженість можливостей адаптації до зміни режимів різання.

З метою більш ефективного використання інструменту і скорочення втрат машинного часу необхідно зменшити коефіцієнти ряду швидкостей, для чого в приводах головного руху з асинхронними двигунами застосовують варіатори для дистанційного зміни передавального відношення в діапазоні 1:4 від окремого приводу за програмою ЧПК або від спеціальних датчиків. При обмеженому діапазоні регулювання варіатора можна здійснювати безступінчасте регулювання приводу головного руху у всьому діапазоні частот обертання за рахунок безперервної зміни частот обертання всередині кожного ступеня коробки передач. Недоліком такого способу є ускладнення конструкції приводу в цілому.

Регульовані приводи головного руху поділяються на три групи.

1) Застосування електроприводів з тиристорним безступінчатим регулюванням частот обертання шпинделя і коробок передач забезпечує широкий діапазон регулювання за допомогою понижувальної передачі для отримання нижніх діапазонів частот обертання і підвищуючої передачі для досягнення верхніх діапазонів.

Безперервна безступінчата зміна частоти обертання шпинделя здійснюється також за рахунок застосування електроприводу з частотним регулюванням і гідроприводу з об'ємним регулюванням. Регульовані приводи найбільш повно забезпечують виконання всіх вимог, що пред'являються до приводів головного руху.

Двигуни постійного струму застосовують в приводах головного руху завдяки спрощенню кінематичної схеми верстата і його хорошим електромеханічним характеристикам. У такі двигуни часто вбудовуються тахогенератори для забезпечення зворотного зв'язку по швидкості, а також температурні датчики. На кришці двигуна кріпиться котушка електромагнітного гальма, а на шківі – диск гальма. Найбільш значним недоліком приводів двигунів постійного струму є зниження потужності при частоті обертання електродвигуна нижче номінальної.

2) Приводи з гідродвигунами застосовують в гідрофікованих багатоопераційних верстатах. Ці приводи характеризуються малими габаритними розмірами, високою потужністю і широким діапазоном регулювання. Завдяки невеликим розмірам гидродвигун можна монтувати безпосередньо на шпиндельному вузлі, що різко спрощує кінематичну схему приводу.

Недоліком приводів головного руху на базі гідродвигунів є складність конструкції (отже, і виготовлення), яка обумовить складність гідросхеми верстата і його комунікацій.

3) В даний час в приводах головного руху все частіше застосовують асинхронні електродвигуни з частотним регулюванням. Основні переваги таких електродвигунів – низька вартість в порівнянні з двигунами постійного струму,

допустимість багаторазових перевантажень по потужності і гранична простота експлуатації.

4.1.3 Напрямки удосконалення приводів головного руху багатоопераційних верстатів

Удосконалення приводів головного руху багатоопераційних верстатів йде шляхом виключення або максимального спрощення коробок передач за рахунок застосування високомоментних регульованих електроприводів, підвищення жорсткості шпинделів, термостабілізації. В якості засобів стабілізації температури використовують повітряні і фреонові теплообмінники для охолодження рідиною шпиндельних вузлів і коробок передач, повітряно-масляні або водомасляні теплообмінники для охолодження корпусів і механізмів шляхом створення «сорочок».

Конструкція приводу головного руху повинна забезпечувати високу вібростійкість, що багато в чому визначає якість обробки і продуктивність верстата. Зменшення вібрації можна досягти при використанні конструктивних засобів, наприклад, різних демпферів, а також при дотриманні відповідності стану механізмів технічним вимогам, використанні інструменту і оснащення за призначенням і правильному виборі режиму різання і т. п.

Вібрація, причиною появи якої є дисбаланс деталей, що входять до складу шпиндельного вузла, має частоту, пропорційну частоті обертання шпинделя. Для виключення вібрації необхідно витримувати точність виготовлення деталей, а також проводити балансування шпинделя в зборі.

Інша причина появи вібрації при обробці деталей передавальних механізмів (зубчастих коліс, валів і т. п.) Полягає в неврівноваженості відцентрових сил, що передаються на підшипники. Для усунення такого роду вібрації необхідно підвищити технічні вимоги до конструкції і збирання деталей, а також забезпечити найкращу працездатність механізмів в часі.

Вимушені вібрації, а також автоколивання можуть бути викликані переривчастим характером різання, що повинно враховуватися при розробці технологічного процесу обробки і виборі різального інструменту. Якість виготовлення і підготовки інструменту також впливає на характер різання. На основі накопиченого досвіду можна зробити висновок, що перша власна частота більшості верстатів середнього типорозміру становить близько 20 Гц. Тому не слід застосовувати такі режими руху електродвигуна і передач, при яких можливий резонанс на цій власній частоті. Крім того, необхідна ретельна підготовка ріжучого інструменту, особлива увага повинна бути приділена місцям його закріплення і балансуванню ріжучої частини.

Шпиндельні вузли більшості багатоопераційних верстатів, як правило, монтують в підшипниках кочення: кулькових, роликових з циліндричними і конічними тілами кочення (рис. 4.9, а). Однак підшипникові вузли мають багато недоліків: складність багаторядної конструкції, необхідність високої точності виготовлення, регулювання попереднього натягу (1 ... 4 мкм), зміни робочого натягу в процесі експлуатації, швидке зношування, знижений

демпфування. Крім того, технологічні можливості підшипникових вузлів особливо у важких верстатах обмежені або недостатньої швидкохідністю при натязі, необхідному для чорнових операцій, або недостатньої здатністю навантаження при натязі, необхідному для швидкісних режимів обробки. Тому останнім часом все частіше застосовують компоновки шпиндельних вузлів на конічних роликових підшипниках з дистанційним гідравлічним регулюванням натягу від ЧПК верстата залежно від режиму обробки (рис. 4.9, б) або на гідростатичних радіальних підшипниках (рис. 4.9, в), що відрізняються простотою, технологічністю, довговічністю, підвищеним демпфуванням, економічністю і точністю. Останній варіант конструкції шпиндельного вузла є найбільш перспективним, оскільки така конструкція забезпечує частоту обертання до 3000 ... 4000 об/хв при силі різання до 8 кН і крутний моменті 1800 Н · м для шпинделів діаметром до 160 мм.

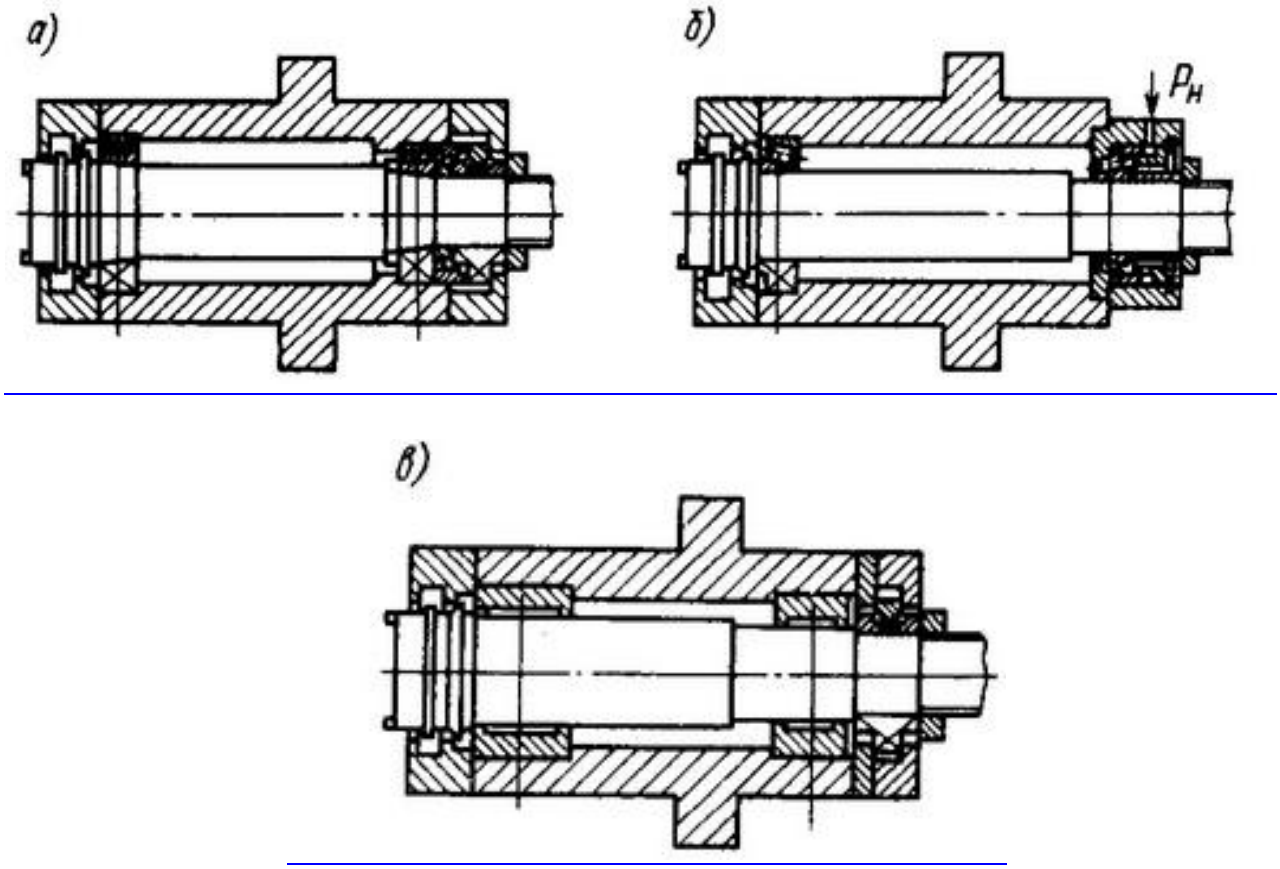


Рисунок 4.9 – Конструкція шпиндельного вузла на опорах кочення (а), на підшипниках з дистанційним гідравлічним регулюванням натягу від ЧПК верстата (б) і на гідростатичних радіальних підшипниках (в)

4.2 Привод подач

4.2.1 призначення, основні вимоги та класифікація

У верстатах рух подачі призначено для поширення процесу різання на всю підлягає обробці поверхня заготовки і відбувається зі швидкістю подачі, значно меншою, ніж швидкість головного руху.

Вид і величина подачі визначаються відповідним технологічним процесом обробки, вимог до точності деталей і стійкості інструменту. Для більшості типів верстатів (токарні, фрезерні, сверлильві, розточувальні, деякі шліфувальні і т. д.) потрібно забезпечити прямолінійний рух подачі.

Для інших (різьбофрезерних і шліфувальні верстати, ділильні столи, поворотні столи розточувальних верстатів і т. д.) – круговий рух. У деяких випадках (оброблювальні центри, верстати для обробки складних поверхонь) система приводів подачі повинна забезпечувати і прямолінійні і кругові переміщення.

У рідкісних випадках (верстати стругальні, деякі шліфувальні) рух подачі носить переривчастий (періодичний) характер. З допомогою приводу подачі можуть здійснюватися також настановні і ділильні переміщення робочих органів.

В якості джерела руху в приводах подач можуть бути як окремі електродвигуни, асинхронні, регульовані східчасто, і нерегульовані, і постійного струму, плавно регульовані, так і обертові вали інших механізмів верстатів, найчастіше ходові гвинти. В приводі подач широко застосовуються гідравлічні двигуни. Для ступінчастого регулювання в приводі подач застосовують механізми:

- гітари змінних коліс (рис. 4.10);
- конус Нортона (рис. 4.11);
- зворотний конус з витяжною шпонкою (рис. 4.12);
- пересувні блоки коліс (рис. 4.3);
- зубчасті передачі перемикаються муфтами (рис. 4.2 та 4.8) та інші.

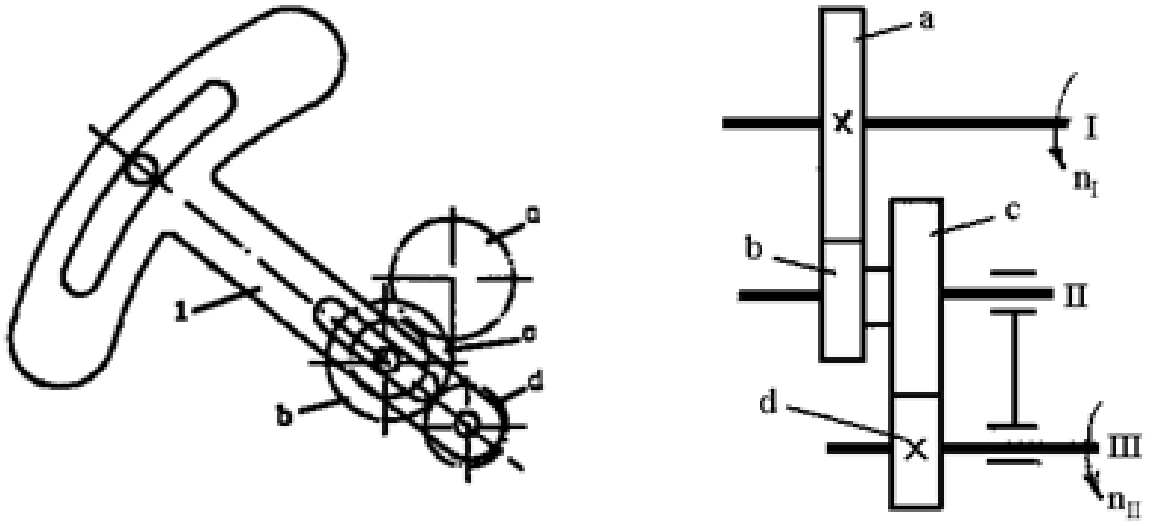
Гітари змінних коліс в приводах подач частіше застосовуються двохпарних (рис. 4.10), при цьому осі коліс a і d фіксовані, а вісь блоку коліс b і c може змінювати своє положення.

Вона розміщується в пазу важеля 1, забезпечуючи зачеплення коліс c і d.

Для зачеплення коліс a і b важіль 1 повертається навколо осі валу III і фіксується в іншому пазу. При підборі чисел зубів змінних коліс керуються умовою зачеплення:

$$a + b \geq c + (15...20);$$
$$c + d \geq b + (15...20).$$

При наявності стандартних наборів змінних коліс такий спосіб регулювання забезпечує практично будь-яку потрібну значення передатного відношення гітари їх.



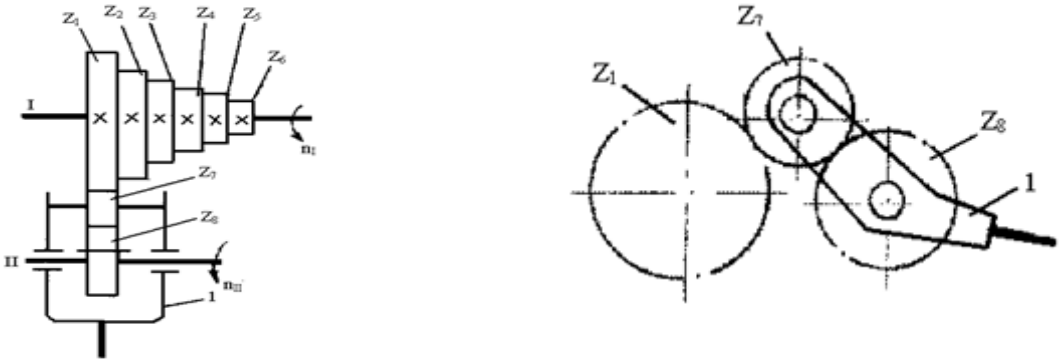
а б

Рисунок 4.10 – Двохпарна гітара змінних зубчатих коліс

У цьому полягає основна перевага двохпарної гітари змінних коліс. До недоліків можна віднести тривалість налаштування і знижену твердість, викликану наявністю рухомих стиків.

Найбільш широко цей механізм застосовується в приводі подач токарних і зубооброблювальних верстатів.

Регулювання за допомогою конуса Нортона (рис. 4.11) найчастіше зустрічається у коробках подач токарних верстатів.



а б

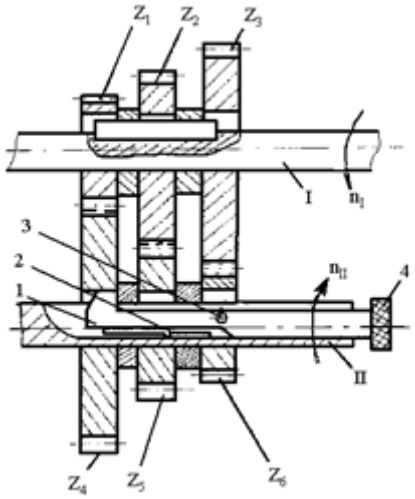
Рисунок 4.11 – Регулювання за допомогою конуса Нортона

При повороті каретки за годинниковою стрілкою коліс виходить із зачеплення з колесом z_1 .

Переміщаючи каретку 1 вздовж валу II, можна встановити колесо z_7 проти будь-якого колеса конуса, а, повернувши каретку 1 проти годинникової стрілки, ввести взачеплення з ним колесо z_7.

У зворотному конусі з витяжною шпонкою (рис. 4.12) колеса z_1; z_2; z_3 з'єднані з валом I. Колеса z_4; z_5; z_6 сидять на валу II вільно

Шпонка 1 розміщується в пазу валу II, постійно підтискається пружиною 2 і пов'язана шарніром 3 з рукояткою 4, за яку її можна переміщувати уздовж валу II, послідовно вводячи в шпонкові пази коліс z_4; z_5; z_6 забезпечуючи, таким чином, передачу крутного моменту відповідною парою коліс.



а

Рисунок 4.12 – Регулювання подачі за допомогою зворотнього конуса і витяжної шпонки

Найбільш широке застосування цей механізм знайшов у коробках подач свердлильних верстатів.

Перемикання пересувними блоками коліс і муфтами в приводах подач і головного руху аналогічні.

Безступінчасте регулювання в приводі подач здійснюється тими ж пристроями, що і в приводі головного руху, однак найбільш широко використовуються електродвигуни постійного струму і гідравлічний привод.

В сучасних верстатах все більшого поширення отримує привод подач, керований автоматично по заздалегідь розробленій програмі.

На рис. 4.13 показана схема токарної обробки фасонного тіла обертання.

Заготовка 1 отримує головнийе обертальний рух B_1.

Різець разом з кареткою 2 отримує рівномірний поступальний рух $П_2$ від ходового гвинта t_1, а каретка 3, яка має можливість переміщатися в поперечному напрямку, пов'язана щупом 4 з копіром 5.

При переміщенні вершина різця буде повторювати траєкторію руху щупа, що ковзає по копіру. Змінивши копір, можна змінити форму оброблюваної поверхні.

Таким чином, тут программоносієм є копір, форма якого повторюється на обробленій поверхні.

За таким методом працюють всі копіювальні верстати, але не всі з них мають прямий механічний зв'язок щупа з різцем, як показано на схемі.

У багатьох копіювальних верстатах для зменшення сил, що діють на щуп і копір, застосовуються так звані слыдкуючі гідравлічні або електричні пристрої.

Аналогічну задачу точіння фасонного тіла обертання можна вирішити і за схемою, яка представлена на рис. 4.14.

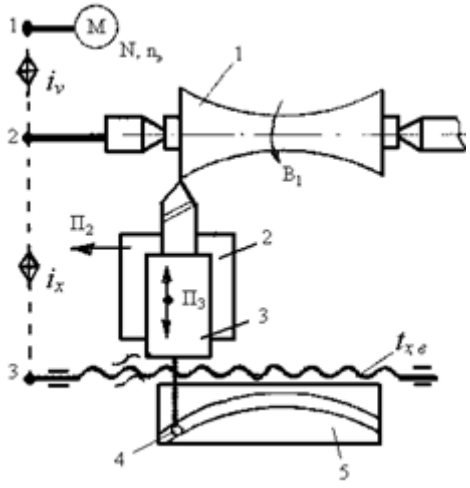


Рисунок 4.13 – Обробка фасонної поверхні за допомогою копіра

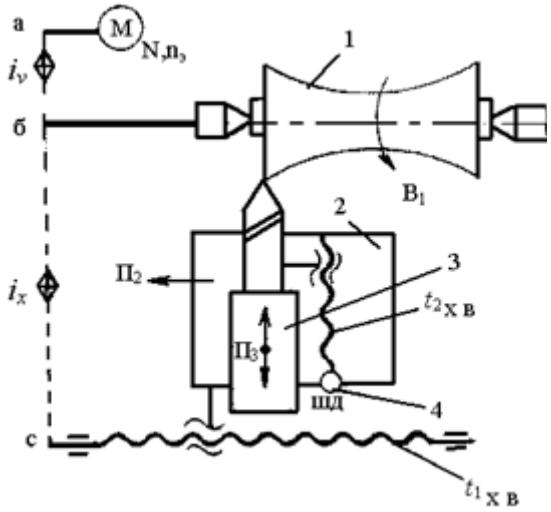


Рисунок 4.14 – Схема привода подач керуючого від пристрою ЧПК

Тут поперечне переміщення $П_3$ здійснюється від окремого двигуна ШД, включення і зміна швидкості, обертання якого виконується за записаною програмою, яка забезпечує необхідну залежність $П_3 = f(П_2)$.

Цей запис може бути виконаним у вигляді послідовності символів, які відповідають координатам положення вершини різця в кожен момент, тобто програма, представляється послідовним рядом чисел. Таке керування називається числовим програмним керування (ЧПК). Область застосування верстатів з таким керуванням постійно розширюється, охоплюючи одиничне і дрібносерійне, а в ряді випадків і великосерійне виробництва.

Привод подачі, будучи однією з найважливіших підсистем верстата, повинен відповідати цілому комплексу вимог:

- Забезпечення необхідних швидкостей переміщення робочого органу.
- Забезпечення необхідного числа ступенів робочих подач. Для більшості типів універсальних верстатів з ручним керуванням подачі регулюються ступінчасто, у відповідності зі стандартними геометричними рядами (подібно відповідним приводам головного руху). У токарно-гвинторізних верстатах, враховуючи необхідність отримання стандартних кроків різьб, ряд подач – приблизно арифметичний. У верстатах з ЧПК застосовується плавне регулювання подачі.
- Забезпечення необхідної тягової сили в приводі для переміщення робочого органу.
- Висока жорсткість приводу, що багато в чому визначає точність переміщення і встановлення робочого органу, його динамічну якість.
- У багатьох випадках (наприклад, верстати з ЧПК) потрібно виключити зазори в механічних елементах привода, особливо в тягових пристроях.
- Для забезпечення точних розрахункових переміщень у верстатах з ЧПК і зуборізних верстатах при складних рухах формоутворення потрібна висока кінематична точність приводу, що забезпечується точністю виготовлення та встановлення відповідних механічних елементів (зубчатих передач, валів тощо).

У високоточних верстатах для компенсації кінематичних похибок застосовуються коригуючі пристрої.

- Мінімальні і постійні сили і моменти тертя в приводі.
- Висока надійність приводу.
- Простота виготовлення, складання і обслуговування приводу.

Конструкція приводу подачі істотним чином залежить від:

- виду реалізованого переміщення (лінійні та кругові приводи);
- способу перетворення енергії в силової частини привода (електромеханічні, гідромеханічні, гідравлічні і електромагнітні) ;
- характеру керування приводом (приводи з ручним і програмним керуванням) ;
- способу регулювання швидкості (ступеневу або плавне регулювання) ;
- величини переміщення (приводи макро - і мікропереміщень).

4.2.2 Особливості кінематичних схем приводів верстатів з ЧПК

Кінематична схема навіть найпростішого верстата залежного призначення уявляє собою складний комплекс зубчастих коліс, муфт та валів.

Кінематичні схеми безконсульних фрезерних, розточувальних різеоброблюючих і особливо зуборізних верстатів мають ще більш складну кінематичну структуру. Це необхідно для здійснення пов’язаних між собою по переміщенням в часі двох або трьох виконавчих органів.

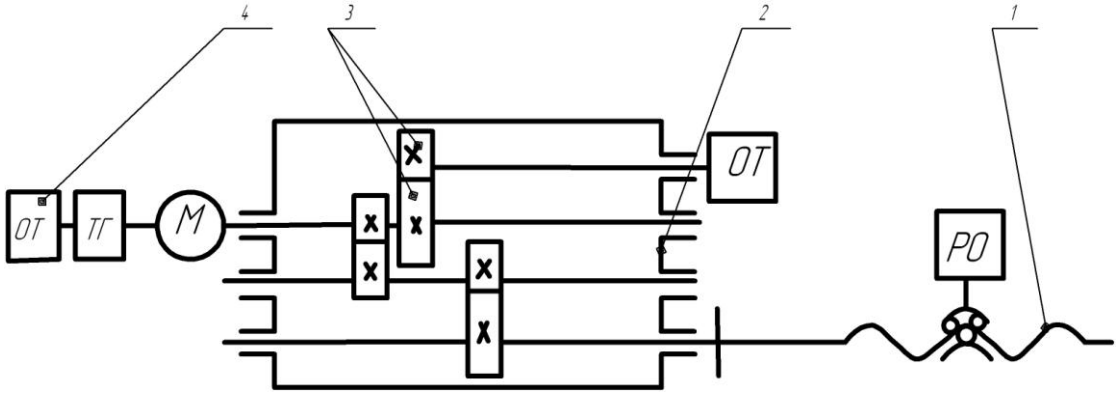
Перехід до ЧПК дозволяє кінематично розв’язувати усі переміщення та виконувати їх за єдиною типовою схемою.

Типова схема приводу лінійного переміщення.

Передаточне відношення редуктора 2 вибирають за умови використання номінальних обертів двигуна при найбільшій подачі.

ТГ використовується у ланцюгу зворотного зв’язку приводу по шляху.

ОТ – датчик виміру положення з’єднується з двигуном через пару зубчастих коліс 3,передаточне відношення якої визначається параметрами зворотного зв’язку слідкуючого приводу. Датчик шляху 4 може безпосередньо з’єднуватися з валом двигуна.



М-автономний двигун;
1 - ходовий гвинт;
2 - редуктор;
ТГ- тахогенератор;
ОТ-обертовий трансформатор (датчик шляху)

Положення робочого органу контролюється датчиком положення. Якщо положення датчика точно відповідає заданому програмою, та кінематична похибка буде утворюватися сумою пружних деформацій та зазорів в усьому кінематичному ланцюгу від датчика до робочого органу.

Вимоги до елементів кінематичних ланцюгів.

1. Виключення в передачах зазорів;
2. Зменшення пружних деформацій;
3. Максимальне спрощення або повне виключення шестерінчастих редукторів.

1.Виключення в передачах зазорів досягається застосуванням

1.Шарикових пар гвинт-гайка з попереднім натягом, що виключають виникнення зазору;

2. Редукторів на прецизійних зубчастих парах з автоматичним вибиранням люфта.

Включення зазорів повинно забезпечуватися під час всього строку служби верстата, тому особливо гостро встала проблема елементів кінематичних ланцюгів.

Механізми вибирання люфтів відомі і застосовуються давно.

- розмірні регульовані гайки у гвинтових парах;
- клини в напрямних;

Але вали дозволяють лише періодично виключати або зменшувати зазори.

Зменшення зносу верстатах з ЧПК досягають

1. Виготовленням елементів кінематичних ланцюгів із загартованої сталі;

2. Використання точного шліфування;

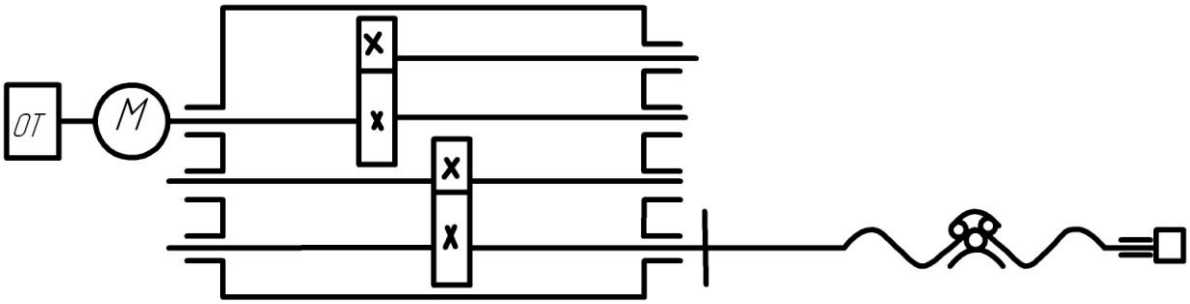
3. Зниження коефіцієнту тертя до рівня кочення застосуванням шарикових та роликових контактних елементів, спеціальних пластикових покриттів, гідростатичних засобів розвантаження.

4. Зменшення пружних деформацій досягають підвищенням у 2-5 разів вимог до жорсткості усіх елементів кінематичних ланцюгів.

Наприклад, рекомендована жорсткість ШГП до 1800 Н/мкм. (Звичайно, 300-500 Н/мкм). Забезпечення високої жорсткості-складна технічна задача.

Відомо альтернативно служить охоплення вимірювальними датчиками зворотнього зв'язку можливо більшої кількості елементів кінематичного ланцюга.

5. Приєднання вимірювального датчика безпосередньо до гвинта.

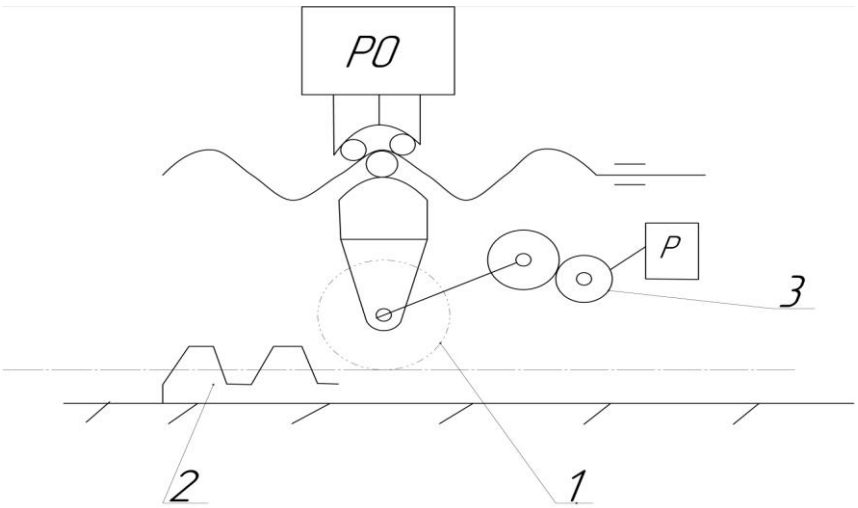


Із похибок відтворення програми виключаються пружні деформації редуктора та гвинта.

В якості датчика використовується резольвер Р обертовий трансформатор із електричною редукцією. (за один оберт ротора фаза сигналу на виході обертається стільки раз, яке передаточне число електричної редукції)

- Застосовують фотоелектричні датчики положення та обертові трансформатори типу ВТ. У добре виготовлених приводах такої схеми при довжині хода 1м досягається точність позиціювання 0,03мм.

- Приєднання вимірювального датчика до робочого органу верстата. Використовують редусини Р, індуктосини ІНД, датчики оптичного або іншого виду.



Редусин Р використовують в поєднанні з передачею

1- шестерня;
2- рейка;
3- мультиплікатор (забезпечує ціну обертання фази порядку 1 мм)

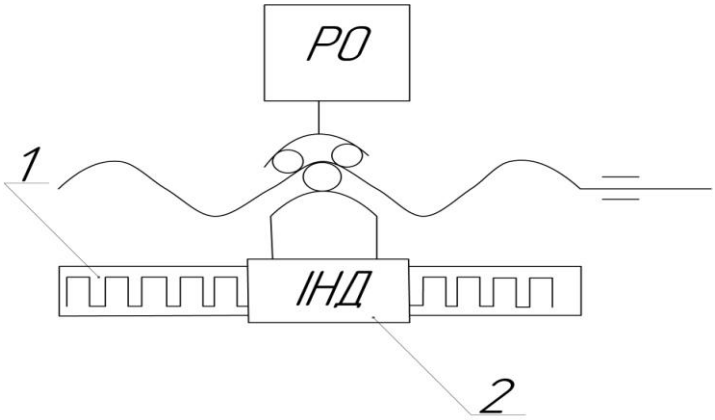
Шестерня з мультиплікатором закріплюється на рухомому органі верстата, точна вимірювальна рейка-на основі.

Недолік – недостатня експлуатаційна надійність через можливості попадання між зуби та особливо мілкої стружки.

Надійний захист - складна технічна задача.

Доцільні при переміщеннях більше 2-3 м.

Схема з індуктосином



Індуктосин – це багатополюсний лінійний трансформатор, звичайно забезпечує дискретність лінійного переміщення 2,5мкм.

ІНД складається з двох частин

Лінійки – 1, яка закріплена на основі, та повзун – 2.

У добре виготовлених приводах при довжині хода порядку 1м звичайно досягається точність позиціювання 0,01 мкм. Її збільшенням ходу через накопичення похибок у лінійках точність дещо знижується.

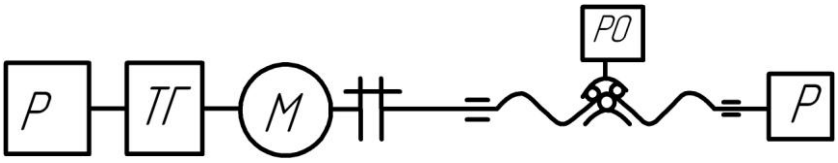
Однак, пружності чи проміжки в елементах кінематичних ланцюгів, що охоплюються датчиками, включаються у замкнений ланцюг регулювання та знижують його статичну та динамічну точність, швидкодію та веде до ускладнення схеми керування.

Тобто ефект від переносу датчика з приводу на робочий орган знижується і його реалізація можлива при високих вимогах до жорсткості та проміжків у всьому кінематичному ланцюгу.

5. Максимальне спрощення або повне виключення шестерінчастих редукторів.

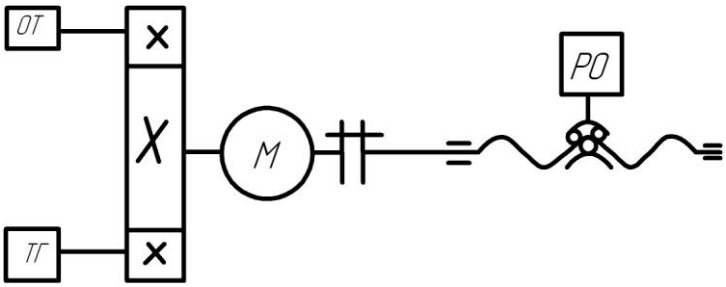
Перехід на безредукторні приводи подач лінійних переміщень та приводи із спрощеними редукторами кругових переміщень став можливим після освоєння високомоментних електричних та електрогідравлічних приводі. Вони мають високу статичну точність та високу швидкодію. У таких приводах вал двигуна напряму через муфту високої крутної жорсткості з’єднується з гвинтом.

а)



Датчики зворотного зв'язку за швидкістю ТГ та за положенням Р приєднуються до валу двигуна або до гвинта

б)



ТГ та ОТ (більш точний ніж Р) приєднується до валу двигуна через точні прискорюючі зубчасті передачі.

Безредукторні приводи забезпечують швидкості холостих переміщень 10 ... 15 м/хв, робочих - від 10 мм/хв.

Високомоментні приводи подач дозволяють:

1. Зменшити габарити верстата;
2. Зменшити працемісткість виготовлення найбільш складних вузлів;
3. Знизити вартість поряд із підвищенням точності його роботи та продуктивності.

Висновок.

Таким чином, ми розглянули основні типи приводів подач їх основні конструкції, призначення та вимоги, що пред'являються до них, способи і методи обробки окремих поверхонь.

Від правильного вибору конструкції приводу багато в чому залежать їх довговічність, працездатність і точнісні характеристики верстата в цілому.

Особливостями кінематичних схем верстатів по кожній з координат переміщень, граничне спрощення цих ланцюгів, включаючи повне виключення зубчастих редукторів та можливість самої широкої уніфікації основних вузлів як в межах одного верстата, так і різних типорозмірів.

Литература:

основна;

1. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / Т.М. Авраамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т.1. — М.: Машиностроение, 2011. 608 с. С 181 – 247.

додаткова:

1. Металлорежущие станки / Н.С. Каменев, Л.В. Красниченко и др. – М.: Машиностроение, 1980.- 500 с.

Контрольні запитання

1. Яку функцію виконують напрямні приводи у верстатах?
2. Яким чином поділяють приводи за своїми функціями і конструктивному виконанню?
3. Що використовується в якості джерела руху в приводі подач верстатів?
4. Які механізми використовуються в приводі подач для ступінчатого регулювання?
5. Які механізми використовуються в приводі подач для безступінчастого регулювання?
6. Що використовується в якості джерела руху в приводі головного руху верстатів?
7. Які механізми використовуються в приводі головного руху верстатів для ступінчатого регулювання?
8. Які механізми використовуються в приводі головного руху верстатів для безступінчастого регулювання?

5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

5.1 Початкові дані для проектування

Приводи металорізальних верстатів призначені для здійснення робочих, допоміжних та установчих переміщень інструментів та заготовок. Їх поділяють на приводи головного руху, які забезпечують швидкість різання, та приводи подачі, які забезпечують координатні переміщення, а також приводи допоміжних переміщень. До кожного виду приводів, із врахуванням службового призначення верстата, висувають свої специфічні вимоги щодо передачі сили, забезпечення постійності швидкості, її зміни та настроювання, точності переміщення та похибки позиціонування вузла, швидкодії, надійності, вартості, габаритних розмірів.

Головними початковими даними для проектування приводу головного руху є діапазон регулювання частоти обертання шпинделя $\mathbf{R_n}$ та потужність **N,** що передається приводом. Ці технічні характеристики залежать від службового призначення верстата. Їх визначають на основі аналізу технологічних процесів обробки всієї гами деталей та відповідної номенклатури ріжучого інструмента. Таку інформацію утримує технічне завдання на проектування верстата.

Діапазон регулювання $\mathbf{R_n}$ визначається за граничними частотами обертання шпинделя $\mathbf{n_{max}}$ та $\mathbf{n_{min}}$:

$$\mathbf{R_n = n_{max} / n_{min}.}$$

Для приводів з головним обертальним рухом граничні частоти обертання $\mathbf{n_{max}}$ та $\mathbf{n_{min}}$ визначають за граничними для усіх операцій швидкостями різання $\mathbf{v_{max}}$ та $\mathbf{v_{min}}$ та розмірами оброблюваних деталей $\mathbf{D_{max}}$ та $\mathbf{D_{min}}$:

$$\mathbf{n_{max}} = \frac{1000\mathbf{v_{max}}}{\pi \mathbf{D_{min}}}; \qquad \mathbf{n_{min}} = \frac{1000\mathbf{v_{min}}}{\pi \mathbf{D_{max}}}.$$

Призначати діапазон регулювання та потужність приводу потрібно із врахуванням, що збільшення їх значень ускладнює привод та збільшує його вартість, а заниження призводить до зменшення продуктивності верстата через неможливість застосування економічно вигідних режимів обробки для усіх операцій.

Вибір доцільно проводити на основі виробничих статистичних даних з використання верстатів відповідного типу та розміру на різних швидкостях різання та при різних потужностях. При цьому повинна бути врахована можливість обробки деталей з граничними розмірами, а отже і з граничними характеристиками на сусідніх за розмірами верстатах у ряду верстатів даного типу.

5.2 Закономірності ряду частот обертання шпинделя

Головними приводами із ступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя оснащують автоматизовані верстати, що рідко переналагоджуються,

та неавтоматизовані універсальні верстати з ручним керуванням. Такі приводи прості за конструкцією, компактні, мають високий ККД, жорстку характеристику, можливість передачі постійної потужності у всьому діапазоні регулювання, невелику вартість, довговічні. Однак вони не придатні для верстатів з ЧПК, оскільки не завжди можуть забезпечити потрібну частоту обертання шпинделя та не дозволяють підтримувати оптимальну швидкість різання у процесі виконання циклу обробки деталі з деякими специфічними поверхнями, наприклад, великі конуси, торцеві поверхні та криволінійні з великою різницею діаметрів. Проміжні значення частот обертання вибирають, як правило, за законом геометричної прогресії. Доцільність застосування геометричного ряду частот обертання була обґрунтована акад. А.В. Гадоліним. Обґрунтування полягає у забезпеченні постійності втрати економічно вигідної швидкості для усіх інтервалів ряду, що забезпечує постійність втрати технологічної продуктивності при інших рівних умовах обробки.

Ступінчасте регулювання частоти обертання доцільно здійснювати послідовним вмиканням зубчастих передач, виконаних у вигляді подвійних та потрійних блоків. При цьому із закономірних рядів частот обертання шпинделя можна забезпечити тільки геометричний ряд.

В кінематичних розрахунках прийняті такі позначення параметрів:

– частоти обертання шпинделя — $\mathbf{n_1 = n_{min}}$, $\mathbf{n_2}$, $\mathbf{n_3}$, … , $\mathbf{n_z = n_{max}}$;
– знаменник геометричного ряду — $\boldsymbol{\varphi}$;
– кількість ступенів частот — **z** ;
– діапазон регулювання **R**.

Основні залежності геометричного ряду частот обертання:

члени ряду частот

$$\begin{aligned} &\mathbf{n_1 = n_{min}} ; \\ &\mathbf{n_2 = n_1\,\varphi} ; \\ &\mathbf{n_3 = n_2\,\varphi = n_1\,\varphi^2} ; \\ &\mathbf{\ldots} \\ &\mathbf{n_z = n_1\,\varphi^{Z-1} = n_{max}} ; \end{aligned} \qquad (5.1)$$

діапазон регулювання приводу

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{n_{max}}}{\mathbf{n_{min}}} = \frac{\mathbf{n_1}\boldsymbol{\varphi}^{\mathbf{Z-1}}}{\mathbf{n_1}} = \boldsymbol{\varphi}^{\mathbf{Z-1}}; \qquad (5.2)$$

кількість ступенів частоти обертання шпинделя

$$\mathbf{z} = \frac{\mathbf{lg\,R}}{\mathbf{lg}\,\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{1}; \qquad (5.3)$$

знаменник геометричного ряду

$$\varphi = \sqrt[z-1]{R}\,. \qquad (5.4)$$

З аналізу основних залежностей (5.1)...(5.4) можна зробити висновок, що для побудови геометричного ряду частот шпинделя достатньо задати три параметри: 1) $\mathbf{n_1}$, $\boldsymbol{\varphi}$, **z**; 2) $\mathbf{n_{min}}$, $\mathbf{n_{max}}$, **z**; 3) $\mathbf{n_1}$, **z**, **R**; 4) $\mathbf{n_1}$, $\boldsymbol{\varphi}$, **R**.

Чисельні значення знаменника геометричного ряду стандартизовані: $\boldsymbol{\varphi}$ = 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2. Знаменник $\boldsymbol{\varphi}$ = 1,06 має допоміжне

значення, при проектуванні верстатів застосовується рідко; $\boldsymbol{\varphi}$ = 1,12 – застосовують при проектуванні автоматів та важких верстатів, коли потрібно точне налагодження на заданий режим різання; $\boldsymbol{\varphi}$ = 1,26 та $\boldsymbol{\varphi}$ = 1,41 – застосовують при проектуванні універсальних токарних, свердлильних, фрезерувальних та інших верстатів; $\boldsymbol{\varphi}$ = 1,58 та $\boldsymbol{\varphi}$ = 1,78 – застосовують при проектуванні верстатів, обробка на яких не потребує точного налагодження на режим різання через великий допоміжний час; $\boldsymbol{\varphi}$ = 2 – має допоміжне значення.

1. Одним з найважливіших показників головного приводу верстата є діапазон регулювання частот обертання шпинделя. Діапазон регулювання та кількість частот обертання шпинделя залежить від типу верстата і для найбільш розповсюджених типів верстатів існують певні рекомендації щодо їх значень. Рекомендовані значення діапазону регулювання та кількість частот обертання шпинделя для різних груп верстатів наведені у таблиці 5.1.

Ряди частот обертання шпинделя стандартизовані (таблиця 5.2).

Таблиця 5.1 — Значення *R* та *z* для верстатів з обертальним головним рухом

2.

Група верстатів	**R**	**z**
Токарні середніх розмірів	40...100	12...24
Карусельні	25...40	9...18
Токарно-револьверні автомати: одношпиндельні багатошпиндельні	 20...60 10...30	 12...18 —
Фасонно-відрізні та фасонно поздовжні автомати	4...20	—
Патронні та револьверні напівавтомати	15...30	9...12
Радіально-свердлильні	8...16	4...9
Фрезерувальні горизонтальні та вертикальні	20...100	12...36

Таблиця 5.2 — Стандартний ряд частот обертання

Знаменник ряду **φ**					Знаменник ряду **φ**				
1,12	**1,26**	**1,41**	**1,58**	**1,78**	**1,12**	**1,26**	**1,41**	**1,58**	**1,78**
1	1	1	1	1	80	80			
1,12					90		90		
1,25	1,25				100	100		100	100
1,41		1,41			112				
1,6	1,6		1,6		125	125	125		
1,8				1,8	140				
2	2	2			160	160		160	
2,24					180		180		180
2,5	2,5		2,5		200	200			
2,8		2,8			224				
3,15	3,15			3,15	250	250	250	250	
3,55					280				
4	4	4	4		315	315			315
4,5					355		355		
5	5				400	400		400	
5,6		5,6		5,6	450				
6,3	6,3		6,3		500	500	500		
7,1					560				560
8	8	8			630	630		630	
9					710		710		
10	10		10	10	800	800			

Продовження таблиці 5.2

11,2		11,2			900				
12,5	12,5				1000	1000	1000	1000	1000
14					1120				
16	16	16	16		1250	1250			
18				18	1410		1410		
20	20				1600	1600		1600	
22,4		22,4			1800				1800
25	25		25		2000	2000	2000		
28					2240				
31,5	31,5	31,5		31,5	2500	2500		2500	
35,5					2800		2800		
40	40		40		3150	3150			3150
45		45			3550				
50	50				4000	4000	4000	4000	
56				56	4500				
63	63	63	63		5000				
71					5600				5600

5.3 Типові механічні передачі у приводах

Механічна частина електромеханічного головного приводу із ступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя складається з постійних та групових передач. Постійні зубчасті та пасові передачі призначені для редукування частоти обертання та формування просторового компонування верстата. Групові передачі (рисунок 5.1) забезпечують потрібний ряд частот обертання шпинделя.

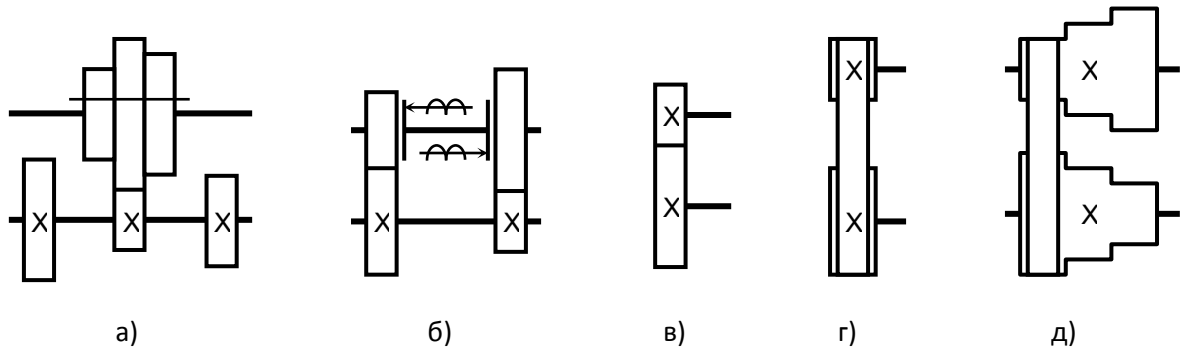


Рисунок 5.1 — Схеми групових передач

Передача з пересувними колесами (рисунок 5.1,а) дозволяє передавати великі крутні моменти, має високий ККД, оскільки в роботі бере участь тільки одна пара зубчастих коліс. У таких передачах не можна використовувати косозубі колеса та не можна перемикати її на ходу.

Передачі з електромагнітними муфтами (рисунок 5.1,б) можна перемикати під час роботи, що дозволяє автоматизувати керування приводом. Передачі можуть утримувати косозубі колеса.

Передачі з плоским пасом та змінними шківами (рисунок 5.1,в) або ступінчастими (рисунок 5.1,д) працюють плавно, але мають великі габарити.

5.4 Приводи з послідовно з'єднаними груповими передачами

Багатогрупова структура утримує **m** послідовно з'єднаних групових передач **a**, **b**, **c**, …, **k**, **m**.

Число передач у кожній групі, відповідно, p_a, p_b, p_c, …, p_k, p_m.

Загальна кількість ступенів швидкості обертання шпинделя

$$z = p_a\, p_b\, p_c \cdots p_k\, p_m.$$

В залежності від кінематичних параметрів розрізняють основну та переборні (перша, друга, ...) групи.

Основна група, що має число передач p_a, створює ряд частот обертання із знаменником φ. На структурній сітці приводу вона зображується променями, що розходяться на один інтервал, тобто характеристика основної групи $x_0 = 1$.

Перша переборна група (число передач p_b) отримує обертання від основної тому, щоб забезпечити в подальшому ряд частот із знаменником φ, характеристика її повинна дорівнювати числу передач основної групи $x_1 = p_a$.

Характеристика другої переборної групи дорівнює добутку чисел передач основної та першої переборної груп $x_2 = p_a p_b$. Аналогічно визначаються характеристики інших груп.

Послідовність розташування групових передач (основної та переборних) у кінематичній структурі приводу теоретично може бути будь-якою. Згідно з

прийнятими вище позначеннями, можна записати послідовність характеристик груп

$$x_0 = 1;\ x_1 = p_a;\ x_2 = p_a p_b;\ \ldots;\ x_m = p_a p_b \cdots p_k.$$

Структурна формула приводу записується у вигляді

$$z = p_{a(x_0=1)} p_{b(x_1=p_a)} \cdots p_{m(x_m=p_a p_b \ldots p_k)}.$$

Такі кінематичні структури приводів називають нормальними.

Кінематичні розрахунки зручно виконувати за допомогою графо-аналітичного методу, який базується на послідовній побудові двох графіків – структурної сітки та графіка частот обертання.

Структурна сітка (якісний графік) дає уявлення про створення заданого ряду частот кінематичною структурою із заданою структурною формулою. Попередньо будується координатна сітка. Кількість горизонтальних ліній у ній на одиницю більша числа групових передач кінематичної структури, а кількість вертикальних ліній дорівнює числу ступенів частот обертання. Інтервали між вертикалями однакові і відповідають зміні частоти обертання на знаменник ряду **φ**. Будується структурна сітка симетрично, тобто початкова точка на першому валу (верхня лінія) лежить посередині. У полі між сусідніми горизонтальними лініями за допомогою променів зображують відповідну групову передачу та ряд частот, який вона створює. Відстань між кінцями променів, що виходять з одної точки та зображають окремі передачі групи, у інтервалах між вертикалями дорівнює характеристиці цієї групи. Привод з послідовно з'єднаними груповими передачами зображується у вигляді віялоподібної сітки.

Приклад. Побудувати структурну сітку приводу з послідовно з'єднаними груповими передачами та числом частот обертання **z** = 24. Розглянемо варіант розподілу числа передач між групами 24 = 3·2·2·2. Порядок кінематичного вмикання груп приймаємо такий: перша група – основна, друга – перша переборна, третя – друга переборна, четверта – третя переборна. Тоді структурна формула приводу $z = p_a\ p_b\ p_c\ p_d = 3_0 \cdot 2_1 \cdot 2_2 \cdot 2_3$. Характеристики групових передач: $x_0 = 1;\ x_1 = p_a = 3;\ x_2 = p_a\ p_b = 3 \cdot 2 = 6;\ x_3 = p_a\ p_b\ p_c = 3 \cdot 2 \cdot 2 = 12$. Структурна сітка приводу зображена на рисунку 5.2.

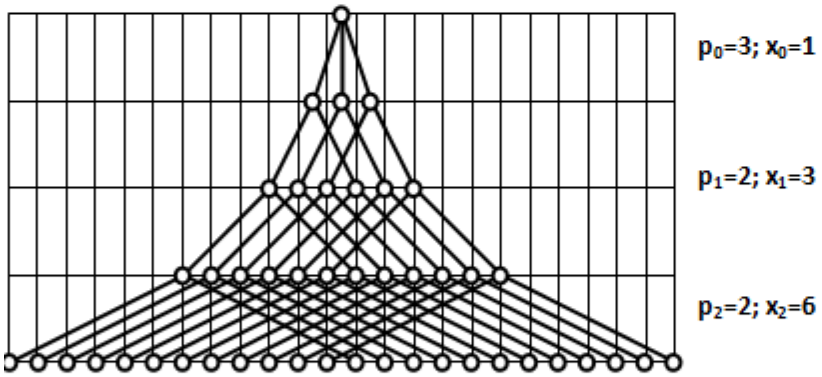


Рисунок 5.2 – Структурна сітка приводу за формулою $z = 3_0 \cdot 2_1 \cdot 2_2 \cdot 2_3$

5.5 Приводи з частковим перекриттям ступенів частот обертання

Якщо діапазон регулювання приводу нормальної структури більший розрахункового, то для його зменшення можна відкоригувати структуру, створивши часткове перекриття декількох ступенів частот обертання. Спосіб полягає у зменшенні на $\mathbf{x_п}$ характеристики останньої **k**-ї групи. Завдяки цьому загальне число ступенів частот приводу зменшиться на $\mathbf{z_п = x_п (p_k - 1)}$ і буде дорівнювати

$$\bar{\mathbf{z}} = \mathbf{z - z_п = z - x_п (p_k - 1)}.$$

Фактична характеристика виправленої **k**-ї групи

$$\bar{\mathbf{x}}_k = \mathbf{x_k - z_п / (p_k - 1)}.$$

Загальний діапазон регулювання зменшується у $\varphi^{x_п}\mathbf{(p_k - 1)}$ раз.

Приклад 2. Змінимо нормальну структуру, наведену у прикладі 1, з метою отримання перекриття кількох ступенів частот обертання на останньому валу. Для цього зменшимо характеристику останньої групи $\mathbf{x_3}$ = 12 на $\mathbf{x_п}$ = 4. Фактична характеристика останньої групи стане $\bar{\mathbf{x}}_3$ = 12 – 4 = 8. Фактичне число ступенів частот обертання на останньому валу $\bar{\mathbf{z}}$ = 24 – 4/(2 – 1) = 20. Структурна сітка нової структури зображена на рисунку 5.3.

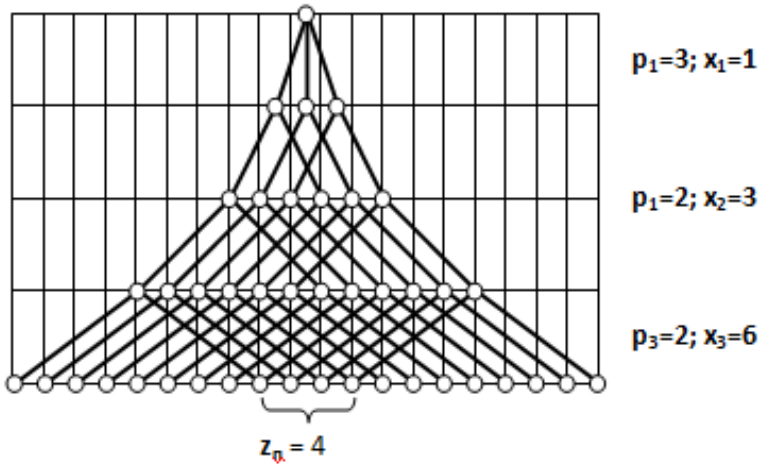
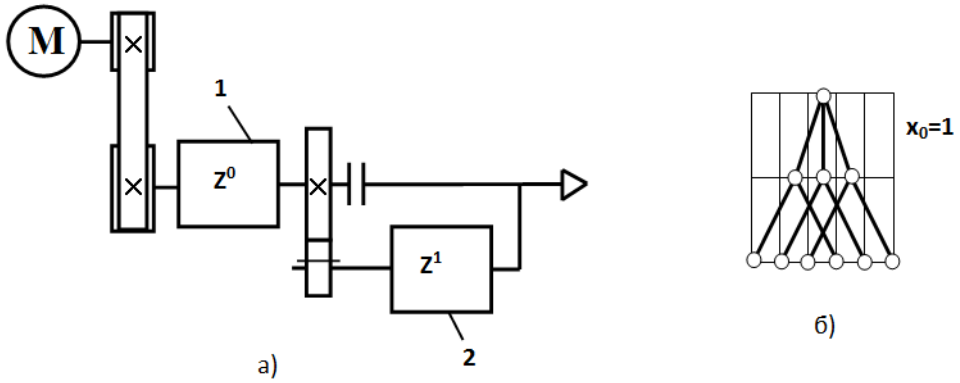


Рисунок 5.3 – Структурна сітка з частковим перекриттям частот обертання

5.6 Приводи складеної структури

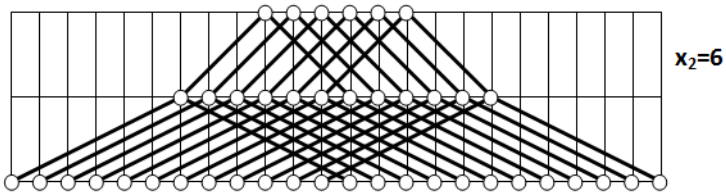
Складену структуру отримують з двох або більше з'єднаних у певному порядку структур з послідовно розташованими груповими передачами. Одну з структур називають основною, інші — додатковими. Основна структура бере участь у передачі на шпиндель усіх частот обертання, які створює. Кожна додаткова структура використовується для передачі тільки частини частот обертання. Розроблено ряд найбільш раціональних складених структур, які використовуються у побудові коробок швидкостей та коробок подач. Одна з

таких складених структур приводу зображена на рисунку 5.4. В цьому приводі 1 — основна структура, яка створює $\mathbf{z}^0$ ступенів частот, 2 — додаткова структура, яка створює $\mathbf{z'}$ ступенів частот обертання. Такий привод забезпечує на шпинделі верстата $\mathbf{z} = \mathbf{z}^0 + \mathbf{z}^0\mathbf{z'} = \mathbf{z}^0(1 + \mathbf{z'})$ різних частот обертання.

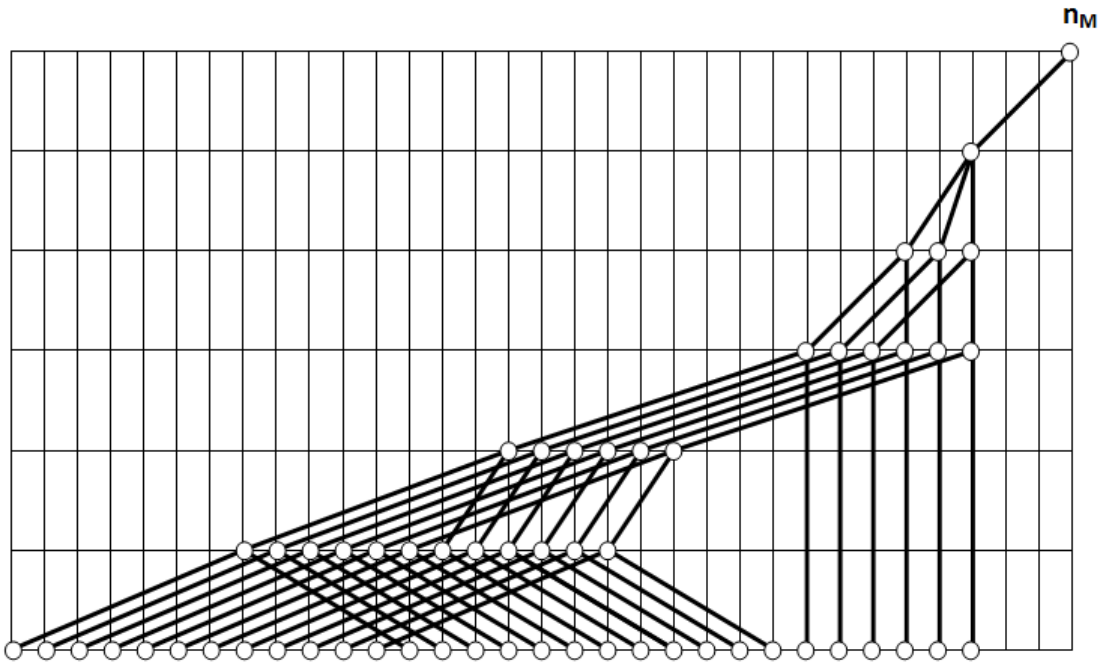


а)

б)



в)



г)

Рисунок 5.4 — Привод складеної структури: а — структурна схема приводу; б — структурна сітка основної структури; в — структурна сітка додаткової структури; г — графік частот обертання

Структурні формулу та сітку для основної структури будують так, як і для нормальної кінематичної структури. Для кожної додаткової структури будують окрему структурну сітку. При цьому характеристика першої групи додаткової структури дорівнює числу ступенів частот обертання основної структури. Для кожної додаткової структури будують окрему структурну сітку.

Порівняно із нормальними структурами, що утворюються послідовним з'єднанням групових передач, складені структури мають ряд переваг. Вони дозволяють отримувати велику кількість ступенів частот обертання та передавати високі частоти за допомогою коротких кінематичних ланцюгів. У приводах складеної структури значно менші втрати потужності.

Приклад 4. Основна структура приводу, зображеного на рисунку 5.4,а, забезпечує 6 ступенів частот обертання, додаткова – 4 ступеня. Шпиндель верстата з таким приводом отримує $\mathbf{z} = 6 \cdot (1 + 4) = 30$ частот обертання. Один з можливих варіантів структурної формули приводу можна записати в такому вигляді: $\mathbf{z} = 3_1\ 2_2\ (1 + 2_3\ 2_4)$. Структурні сітки такого приводу зображені на рисунку 5.4,б – для основної структури, на рисунку 5.4,в – для додаткової структури. На рисунку 5.4,г зображено графік частот обертання.

5.7 Приводи з двошвидкісним двигуном

Застосування двошвидкісних електродвигунів зменшує кількість зубчастих передач для отримання заданого ряду частот обертання шпинделя, що зменшує габарити та масу коробки швидкостей.

При кінематичних розрахунках приводу електродвигун вважають кінематичною групою, що має дві передачі. Характеристику $\mathbf{x_e}$ цієї групи визначають із врахуванням того, що діапазон регулювання її дорівнює 2, а знаменник ряду частот обертання — $\boldsymbol{\varphi}$. При цьому $\boldsymbol{\varphi}^{\mathbf{x_e}} = 2$, $\mathbf{x_e} = \lg 2 / \lg \boldsymbol{\varphi}$ і при стандартних значеннях $\boldsymbol{\varphi}$ (1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 2,0) характеристика електричної групи відповідно дорівнює 12, 6, 3, 2, 1. З ряду цих значень видно, що електрична група може бути основною лише при $\boldsymbol{\varphi} = 2$, але такі приводи практично не застосовуються. Звичайно двошвидкісний електродвигун утримують приводи, знаменник ряду частот в яких дорівнює 1,06; 1,12 чи 1,26.

Приклад 5. Побудуємо структурну сітку та графік частот обертання для приводу, який забезпечує 24 частоти обертання шпинделя, мінімальну частоту 125 хв$^{-1}$, максимальну — 1800 хв$^{-1}$. В приводі застосовано двошвидкісний електродвигун з частотами обертання 1500 та 750 хв$^{-1}$.

Діапазон регулювання приводу

$$\mathbf{R} = 1800/125 = 14{,}4.$$

Знаменник ряду частот обертання приводу

$$\boldsymbol{\varphi} = \sqrt[24-1]{14{,}4} = 1{,}12.$$

Характеристика електричної групи

$$\mathbf{x_e} = \lg 2 / \lg 1{,}12 = 6.$$

Приймаємо структурну формулу приводу $\mathbf{z} = 24 = 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2$. Першою в структурі розташовується електрична група з характеристикою $\mathbf{x_e} = 6$. Друга група – основна з характеристикою $\mathbf{x_0} = 1$ та кількістю передач $\mathbf{p_0} = 3$, третя — перша переборна. Її характеристика $\mathbf{x_1} = 3$, кількість передач $\mathbf{p_1} = 2$. Характеристика другої переборної групи буде $\mathbf{x_2} = 6$, але таку характеристику має електрична група. Отже, електродвигун можна вважати другою переборною групою з характеристикою $\mathbf{x_e} = \mathbf{x_2} = 6$, а кількість передач $\mathbf{p_2} = 2$. Останньою в структурі буде третя переборна група, характеристика якої визначається за загальним правилом $\mathbf{x_3} = 12$. структурна формула приводу буде мати вигляд: $\mathbf{z} = 24 = 2_2 \cdot 3_0 \cdot 2_1 \cdot 2_3$. Структурна сітка зображена на рисунку 5.5,а. Оскільки характеристика електричної групи дорівнює 6, відповідні точки на першому валу рознесені на 6 інтервалів, а вал двигуна не показано. Графік частот обертання показано на рисунку 5.5,б.

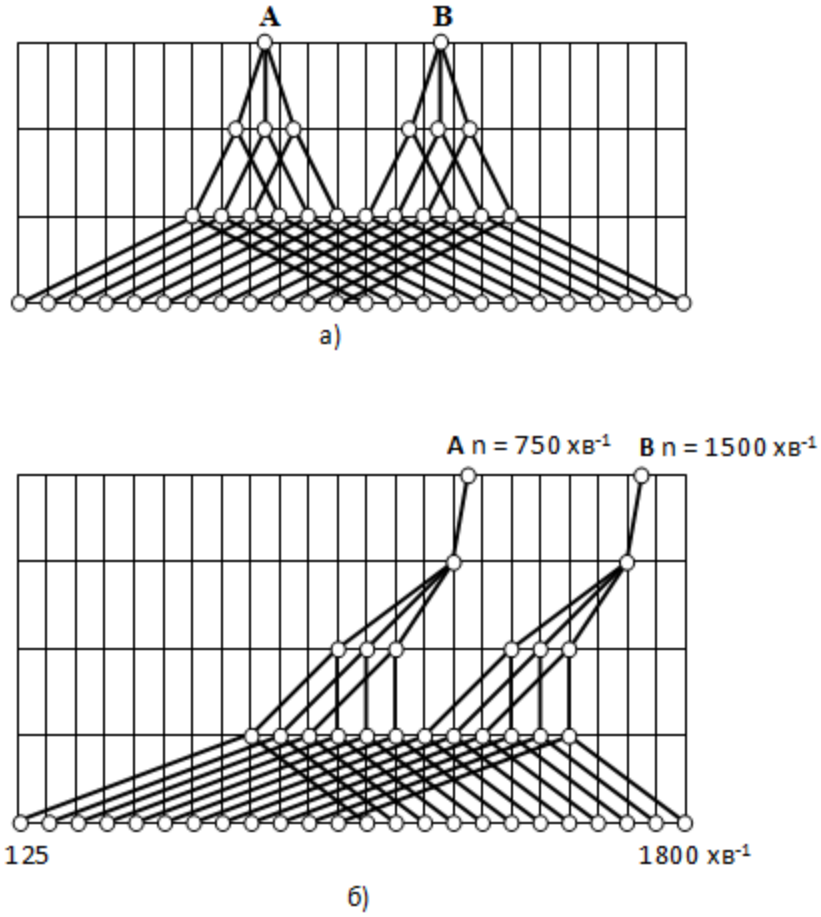


Рисунок 5.5 – Структурна сітка (а) та графік частот обертання (б) приводу з двошвидкісним двигуном

5.8 Послідовність кінематичного розрахунку приводу

Початковими даними для кінематичного розрахунку приводу головного руху є частота обертання вала електродвигуна ($\mathbf{n_д}$), мінімальна та максимальна

частоти обертання шпинделя ($\mathbf{n_{min}}$, $\mathbf{n_{max}}$), число ступенів частот **z**. Можливо використання інших еквівалентних комплексів даних.

Кінематичний розрахунок виконують в такому порядку.

1. Визначають значення знаменника геометричного ряду частот обертання шпинделя та беруть найближче стандартне значення, рекомендоване для верстатів даного типу.

2. Визначають стандартний ряд частот обертання шпинделя, починаючи з максимальної чи мінімальної заданої частоти обертання шпинделя. Якщо значення крайніх частот суттєво відрізняються від заданих, можлива корекція **z,** або заміна структури чи інші зміни кінематичних параметрів приводу.

3. Розробляють декілька варіантів кінематичної структури приводу та вибирають найбільш раціональну за критеріями: мінімуму зубчастих передач, мінімальної маси коробки швидкостей, мінімальних габаритів та іншими. Маса зубчастих коліс та валів тим менша, чим більше зубчастих коліс обертається з високими обертами. Тому групи передач розташовують так, щоб першою була основна і характеристики груп збільшувались від першого валу коробки швидкостей до останнього. Основна група повинна забезпечувати найбільшу кількість передач. З метою підвищення ККД приводу під час роботи з високими частотами обертання переходять до складених структур.

Для двох – трьох попередньо вибраних кінематичних структур будують структурні сітки для подальшого аналізу їх переваг та недоліків з метою остаточного вибору найбільш раціональної структури.

4. Синтезують кінематичну схему приводу, виходячи з структурної сітки, параметрів приводного електродвигуна та заданого ряду частот обертання шпинделя. Вводять поодинокі пасові та зубчасті передачі, які забезпечать певний ряд частот обертання на шпинделі та передачу обертання на шпиндель у відповідності до конструктивного компонування верстата.

5. Будують графік частот обертання на основі кінематичної схеми та структурної сітки. Горизонтальні лінії умовно зображають усі вали приводу, включаючи вали електродвигуна та поодиноких передач. Вертикальні лінії умовно зображають частоти обертання шпинделя. Точки перетину вертикальних ліній з горизонтальними відповідають частотам обертання валів, представленим у логарифмічному масштабі. Передачі та їх передаточні відношення зображують лініями (променями), що з'єднують відповідні точки. Оскільки для частот обертання вибраний логарифмічний масштаб, передаточні відношення передачі (відношення частоти обертання веденого вала до частоти обертання ведучого) визначає вираз

$$\mathbf{i = \varphi^k}, \qquad (5.5)$$

де **k** — число інтервалів між вертикальними лініями, що перетинаються променем.

Промінь з нахилом вправо зображає підвищувальна передачу ($\mathbf{k} > 0$), з нахилом вліво – знижувальну ($\mathbf{k} < 0$), вертикальний – передачу з $\mathbf{i} = 1$. Паралельні промені зображають одну й ту ж передачу. Для забезпечення мінімальних радіальних розмірів коробок швидкостей вводять обмеження на передаточні відношення передач:

$¼ \le \mathbf{i} \le 2$.

Наслідком цих обмежень є максимальне значення діапазону регулювання кінематичної групи — **R** = 8.

З метою отримання раціональної конструкції коробки швидкостей рекомендується мінімальні передаточні відношення в групах поступово зменшувати в напрямку від вала двигуна до шпинделя. Це відображається на графіку частот обертання збільшенням кількості інтервалів, що перекриваються променями передачі з $\mathbf{i_{min}}$ групи, в напрямку від першого вала до шпинделя.

6. За побудованим графіком частот обертання та залежності (5.5) для кожної передачі знаходять передаточне відношення.

7. Визначають числа зубців коліс, користуючись методиками, наведеними у літературі, або за спеціальними таблицями (таблиця 5.3 — 5.6).

Таблиця 5.3 — Числа зубців групових передач для Σz = 50 ... 65

u (1/i)	Σz															
	50	**51**	**52**	**53**	**54**	**55**	**56**	**57**	**58**	**59**	**60**	**61**	**62**	**63**	**64**	**65**
1	25		26		27		28		29		30		31		32	
1,06							27		28		29		30		31	
1,12		24		25		26		27		28			29		30	
1,19	23					25		26		27		28		29	29	
1,26	22		23		24		25			26		27		28		29
1,33		22			23		24		25			26		27		28
1,41		21		22		23			24		25			26		27
1,5	20		21			22		23			24					26
1,58			20		21			22		23	23		24			25
1,68		19			20		21			22			23		24	
1,78	18			19			20		21			22			23	
1,88			18			19			20		21	21		22	22	
2,0		17			18			19			20			21		
2,11	16			17			18			19			20			21
2,24			16			17			18			19	19			20
2,37		15			16			17				18			19	
2,51				15			16				17			18		
2,66		14				15			16	16			17			
2,82												16				17
2,99			13				14				15				16	

Таблиця 5.4 — Числа зубців групових передач для Σz = 66 – 81

u (1/i)	Σz															
	66	**67**	**68**	**69**	**70**	**71**	**72**	**73**	**74**	**75**	**76**	**77**	**78**	**79**	**80**	**81**
1	33		34		35		36		37		38		39		40	
1,06 1,12	32 31		33 32		34 33		35 34		36 35		37 36	36	38 37	37	39 38	38
1,19 1,26	30 29		31 30		32 31		33 32		34 33	34 33	35	35 34		36 35		37 36
1,33 1,41		28	29 28		30 29		31 30	30		32 31		33 32		34 33	34 33	35 34
1,5 1,58		27 26	28		28 27		29 28	29 28		30 29		31 30	32 30		32 31	
1,68 1,78		25 24		26 25	26 25		27 26	27		28 27		29	29 28		30 29	30 29
1,88 2	23 22	23		24 23			25 24			26 25			27 26		28	28 27
2,11 2,24	21		22 21	22		23 22	23 22		24 23	24 23		24	25 24			26 25
2,37 2,51	19	20 19	20		20	21 20		21	22 21			23 22	23 22		23	24 23
2,66 2,82	18		18	19 18	19		19	20 19	20		20	21 20			22 21	22 21
2,99 3,16	16	17 16	17		17	18 17	18			19 18	19			20 19	20 19	
3,35 3,55				16	16			16	17 16			17	18 17	18		18
3,76 3,98							15	15			16	16			17 16	17 16

Таблиця 5.5 — Числа зубців групових передач для Σz = 86 – 97

u (1/i)	Σz															
	82	**83**	**84**	**85**	**86**	**87**	**88**	**89**	**90**	**91**	**92**	**93**	**94**	**95**	**96**	**97**
1	41		42		43		44		45		46		47		48	49
1,06 1,12	40 39	40	41 40		42	42 41	43	43 42	44	44 43	45 43	45 44	46 44	46 45	47 45	47 46
1,19 1,26	38 37	37	39		39 38	40	40 39	41	41 40	40	42 41	41	43	42	44	44 43
1,33 1,41	35		36 35	35	37	37 36	38	38 37	37	39 38	38	40	40 39	41	41 40	40
1,5 1,58	33 32	33 32		34 33	33	35	35 34		36 35	35	37	37 36	38	38 37	37	39
1,68 1,78		31 30	30	32	32 31		33	33 32		34 33	33	35	35 34	34	36	36 35
1,88 2		29	29 28		30 29	30 29	31	31 30	30		32 31	32 31		33 32	33 32	
2,11 2,24			27 26	26		28 27	28 27		29 28	29 28		30 29	30 29		31	31 30
2,37 2,51			25 24	25 24		26 25	26 25			27 26	27 26		28 27	28 27		29
2,66 2,82			23 22	23		24 23	24 23			25 24	25 24			26 25	26 25	
2,99 3,16		21 20	21 20			22 21	22 21			23 22	23 22			24 23	24 23	
3,35 3,55	19 18	19 18			20 19	20 19	20		20	21 20	21 20			22 21	22 21	
3,76 3,98			17	18 17	18			18	19 18	19 18			19	20 19	20 19	

Таблиця 5.6 – числа зубців групових передач для Σz = 98 –108

u (1/i)	Σz										
	98	**99**	**100**	**101**	**102**	**103**	**104**	**105**	**106**	**107**	**108**
1	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54
1,06		48		49		50		51		52	
1,12	46	47	47		48		49		50		51
1,19	45	45	46	46		47		48		49	49
1,26		44	44	45	46		46		47	47	48
1,33	42		43	43	44	44		45		46	46
1,41		41		42	42	43	43		44	44	45
1,5	39	40	40		41	41	42	42		43	43
1,58	38	38	39	39		40	40	41	41	41	42
1,68		37	37	38	38		39	39		40	40
1,78	35		36	36	37	37		38	38		39
1,88	34	34	35	35		36	36		37	37	
2	33	33		34	34		35	35		36	36
2,11		32	32		33	33		34	34		35
2,24	30		31	31		32	32		33	33	33
2,37	29			30	30		31	31		32	32
2,51	28	28		29	29			30	30		31
2,66	27	27			28	28		29	29	29	
2,82		26	26		27	27	27		28	28	28
2,99		25	25			26	26	26		27	27
3,16		24	24	24		25	25	25		26	26
3,35		23	23	23			24	24			25
3,55		22	22	22			23	23	23		24
3,76		21	21	21			22	22	22		23
3,98		20	20	20		21	21	21	21		22

Таблиці 5.3–5.6 містять стандартні значення чисел зубців зубчастих коліс та можливі поєднання їх, які забезпечують передаточні відношення в межах допустимих відхилень. Визначення числа зубців усіх коліс групи відбувається шляхом пошуку стовпчика із сумарним числом зубців **Σz**, в якому присутні числа зубців ведучого колеса для передаточних чисел усіх передач групи. При цьому необхідно враховувати такі залежності наведених у таблиці передаточних чисел та визначених передаточних відношень групових передач: $\mathbf{u = i}$ при $\mathbf{i \geq 1}$; $\mathbf{u = 1/i}$ при $\mathbf{i < 1}$.

5.9 Визначення навантажень на привод

Навантаження на головний привод спеціальних та універсальних верстатів визначають по-різному. Спеціальні верстати, в тому числі агрегатні та верстати автоматичних ліній, призначені для обробки одної конкретної деталі або кількох деталей. Цикл роботи головного приводу жорсткий. Навантаження на нього в різні моменти циклу можуть бути визначені достатньо точно. Коливання навантаження, що викликаються коливаннями припуску на деталях, фізико-механічних властивостей їх, зміною зносу ріжучих інструментів, можна врахувати, знаючи розподіл цих параметрів. Тангенціальну складову сили різання $\mathbf{P_{Z_i}}$ та швидкість різання $\mathbf{V_i}$ при обробці **i**-м інструментом визначають для максимальних значень цих параметрів. Ефективна потужність різання (кВт) для кожного інструменту

$$\mathbf{P_{p_i}} = \frac{\mathbf{P_{Z_i} V_i}}{\mathbf{60 \cdot 10^3}},$$

де $\mathbf{P_{Z_i}}$ у Н, $\mathbf{V_i}$ у м/хв.

Ефективна потужність різання в **j**-му інтервалі циклу при одночасній роботі **k** інструментів

$$\mathbf{P_{p_j}} = \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{k}} \mathbf{P_{p_i}}.$$

Універсальні неавтоматизовані верстати призначені для виготовлення деталей широкої номенклатури, оброблювані невеликими партіями в умовах дрібносерійного та серійного виробництва. Навантаження на головний привод таких верстатів змінюються в широкому інтервалі. Розрахунок деталей приводу універсального верстата можна виконувати двома способами. Один з них — імовірнісний. Він оснований на розподілі навантажень на елементи приводу та розподілі характеристик міцності їх матеріалу, зносостійкості поверхонь тощо. Проте імовірнісні розрахунки верстатів розроблені недостатньо. Тому звичайно застосовують другий спосіб розрахунків, оснований на використанні постійного, так званого розрахункового навантаження. При визначенні розрахункової потужності універсальних верстатів необхідно враховувати протилежні тенденції. Із збільшенням потужності приводу зменшуються втрати продуктивності верстата, обумовлені неможливістю здійснювати різання з

оптимальними жорсткими режимами. При цьому ефективність верстата збільшується, зведені затрати на знімання одиниці об'єму припуску знижуються. Проте збільшення потужності головного приводу призводить до його ускладнення, збільшення маси, підвищення вартості верстата. Розрахункова потужність приводу може бути знайдена шляхом мінімізації зведених затрат на обробку з врахуванням перелічених протилежних тенденцій. Крім цього, потрібно враховувати перспективи підвищення режимів різання, що пов'язано із створенням нових інструментальних матеріалів.

5.10 Визначення втрат потужності у приводі

Види втрат потужності. Втрати потужності у головному приводі верстата складаються із втрат у його механічній частині та втрат у електричній. Втрати потужності у механічній частині $\Delta P_м$ можна розділити на постійні та навантажувальні. Постійні втрати не залежать від корисного навантаження і обумовлені тертям у підшипниках, передачах, перемішуванням масла при холостому обертанні приводу. Вони пов'язані з частотою обертання валів та характеризуються потужністю холостого ходу $P_х$. Навантажувальні втрати $P_н$ — це змінні втрати, обумовлені корисним навантаженням та йому пропорційні.

Таким чином, сумарні втрати у механічній частині приводу:

$$\Delta P_м = P_х + P_н.$$

Визначення потужності холостого ходу. Потужність холостого ходу на **k**-й ступені частоти обертання визначається за залежністю:

$$P_х = a\,(\Delta P_{Х1} + \Delta P_{Х2} + ... + \Delta P_{Хi} + \Delta P_{Хш}),$$

де **a** — коефіцієнт, що враховує втрати потужності у елементах керування:

a = 1,1...1,2 (менші значення вибирають при малому числі рухомих блоків та муфт;

$\Delta P_{Х1}$, $\Delta P_{Х2}$, ... , $\Delta P_{Хi}$ — постійні втрати потужності на валах I, II, ... , **i;**

$\Delta P_{Хш}$ — постійні втрати потужності на шпинделі.

Постійні втрати потужності на валу та на шпинделі при кожній частоті обертання знаходять підсумовуванням втрат у пасових та зубчастих передачах, у підшипниках та інших елементах.

Постійні втрати потужності у пасових передачах (кВт):

$$\Delta P_{Х.п} = C_п\, z v_п \left(\frac{1}{d_{ш1}^2} + \frac{1}{d_{ш2}^2}\right),$$

де $C_п$ — коефіцієнт, що враховує тип пасу;

z — число пасів (для поліклинових пасів);

$v_п$ — швидкість паса, м/с;

$d_{ш1}$, $d_{ш2}$ — діаметри ведучого та веденого шківів, см.

Для клинових пасів:

$$C_п = k_1 + k_2\, v_п\ .$$

Коефіцієнти $\mathbf{k_1}$ та $\mathbf{k_2}$ для клинових та поліклинових пасів пов'язані з перерізом паса, їх значення наведені у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 — Коефіцієнти k1 та k2 для клинових та поліклинових пасів

Переріз паса	клинового			поліклинового		
	А	**Б**	**В**	**К**	**Л**	**М**
$\mathbf{k_1}$	0,25	0,72	2,0	0,016	0,37	2,15
$\mathbf{k_2}$	0,015	0,011	0,0075	0,004	0,008	0,008

Для зубчастих пасів:

$$\mathbf{C_п} = 0.001(\mathbf{k_3 b} + \mathbf{k_4 v_п}\ \sqrt{\mathbf{b}}\ ),$$

де **b** — ширина паса, мм;

$\mathbf{k_3}$ та $\mathbf{k_4}$ — коефіцієнти, що залежать від модуля паса **m** (таблиця 5.8).

Таблиця 5.8 — Коефіцієнти k_3 та k_4 для зубчатих пасів

m, мм	1	1,5	2	3	4	5	7
$\mathbf{k_3}$	0,4	0,9	2,3	4,0	21	35	100
$\mathbf{k_4}$	0,63	0,95	1,45	1,9	2,21	4,11	4,11

Втрати потужності у пасовій передачі відносять до веденого валу.

Постійні втрати потужності у зубчастому зачепленні, віднесені до ведучого валу визначають за виразом:

$$\mathbf{\Delta P_{X.з}} = 0{,}31\mathbf{C_з\, bv}\sqrt{\mathbf{\mu v}}\,,$$

де $\mathbf{C_з}$ — коефіцієнт: для кожного колеса, що не передає крутний момент, $\mathbf{C_з} = (1{,}0...1{,}5)\ 10^{-3}$; для колеса, що передає крутний момент, $\mathbf{C_з} = (2...3)\ 10^{-3}$;

b — ширина вінця зубчастого колеса, мм;

v — колова швидкість у зачепленні, м/с;

μ — динамічна в'язкість змащувального матеріалу, Па·с.

Таку ж втрату потужності від тертя у зубчастому зачепленні відносять і до веденого валу.

Постійні втрати потужності у одному підшипнику кочення складають:

$$\mathbf{\Delta P_{X.п}} = 10^5\ \mathbf{f d_m^3 (\upsilon n)^{\frac{3}{2}}},$$

де **f** — коефіцієнт тертя, що залежить від типу підшипника та способу змащення;

$\mathbf{d_m}$ — середній діаметр підшипника, мм;

υ — кінематична в'язкість змащувального матеріалу, $м^2/с$;

n — частота обертання підшипника, $хв.^{-1}$

Визначення навантажувальних втрат потужності. Навантажувальні втрати приводу визначають шляхом підсумовування втрат потужності на кожному валу, які складаються із втрат у пасових та зубчастих передачах, у підшипниках та інших елементах.

Навантажувальні втрати потужності у клиновій чи поліклиновій пасовій передачі:

$$\Delta P_{н.п} = 3 \cdot 10^{-5} \varphi F v_р,$$

де **φ** — коефіцієнт тяги, що враховує попередній натяг пасів: для поліклинових передач з пасами перерізів **К**, **Л** та **М** **φ** дорівнює відповідно 2,0; 0,8 та 0,5;

F — колова сила, що передається, Н.

Навантажувальні втрати потужності у підшипниках кочення:

$$\Delta P_{н.пш} = 10^{-7} f_1 F_п d_m n,$$

де f_1 — коефіцієнт, що враховує конструкцію підшипника та відношення навантаження на ньому до статичної вантажопідйомності;

$F_п$ — приведене навантаження на підшипник, Н.

Визначення ККД приводу. Коефіцієнт корисної дії механічної частини приводу можна визначити за залежністю

$$\eta = 1 - \frac{P_х}{P_1} - \frac{P_н}{P_1},$$

або за залежністю:

$$\eta = (1 - \frac{P_х}{P_1}) \eta_п^{\alpha} \eta_з^{\beta} \eta_{пш}^{\gamma}, \qquad (5.6)$$

де P_1 — потужність на вхідному валу приводу, кВт;

$\eta_п$, $\eta_з$, $\eta_{пш}$ — середні значення ККД пасової передачі, зубчастої передачі, підшипника;

α, **β**, **γ** — число пасових передач, зубчастих передач та підшипників у механічній частині приводу.

Добуток

$$\eta' = \eta_п^{\alpha} \eta_з^{\beta} \eta_{пш}^{\gamma} \qquad (5.7)$$

характеризує собою навантажувальні втрати. Середні значення ККД елементів приводу, що входять до виразу, вважаються незалежними від навантаження та швидкості і мають такі значення:

пасова передача	0,97...0,99
циліндрична прямозубчаста передача	0,99...0,995
циліндрична косозубчаста передача	0,98...0,99
конічна зубчаста передача	0,97...0,98
підшипник кочення	0,9975...0,9985

Значення η', обчислене за виразом (5.7), можна вважати задовільною оцінкою коефіцієнта корисної дії одношвидкісних приводів при повному використанні номінальної потужності електродвигуна. Проте це значення ККД виходить дуже завищеним для верхніх ступенів частоти обертання при використанні приводів з великим діапазоном регулювання.

Залежність (5.6) дає задовільні оцінки коефіцієнта корисної дії будь-якого головного приводу із ступінчастим регулюванням. При цьому потужність $\mathbf{P_1}$ на вхідному валу приводу задають як долю $\boldsymbol{\alpha}$ номінальної потужності електродвигуна **P**, тобто $\mathbf{P_1 = \alpha\, P}$.

5.11 Вибір асинхронного електродвигуна для приводу

Попередній вибір двигуна. Електродвигун для головного приводу верстата вибирають на стадії розробки його кінематичної схеми. Коли проектують спеціальний верстат, для усіх елементів циклу визначають ефективну потужність різання. Користуючись кінематичною схемою головного приводу та залежністю (5.7), визначають його коефіцієнт корисної дії η'. Коли привод надто складний можна брати ККД в межах 0,75...0,85.

Електродвигун вибирають за розрахунковою номінальною потужністю:

$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{P_{pmax}}}{\lambda\eta'},$$

де $\mathbf{P_{pmax}}$ — максимальна потужність різання у циклі роботи верстата;

$\boldsymbol{\lambda}$ — коефіцієнт перевантаження (призначають $\boldsymbol{\lambda}$ = 1...1,5 в залежності від режиму роботи двигуна).

Якщо при розробці головного приводу універсального верстата важко визначити номінальну потужність його двигуна через відсутність вихідних даних, можна підібрати двигун, виходячи з технічних параметрів кращих за аналогічними параметрами верстатів.

Після того як механічна частина головного приводу розроблена, визначають постійні $\mathbf{P_x}$ та навантажувальні втрати $\mathbf{P_н}$ у ній, а потім потужність на приводному двигуні.

Потужність на двигуні із врахуванням втрат:

$$\mathbf{P = P_р + P_x + P_н = P_р + \Delta P_м}.$$

Якщо проектується спеціальний верстат, потужність на двигуні обчислюють для кожного елементу циклу роботи верстата та приймають найбільшу. Двигун вибирають з урахуванням режиму його роботи.

Вибір двигуна для роботи у тривалому режимі S1. Тривалий режим роботи **S1** властивий двигунам головного руху важких токарних, шліфувальних та зубооброблювальних верстатів. Номінальну потужність двигуна визначають за потужністю різання $\mathbf{P_p}$ та ККД $\boldsymbol{\eta}$ механічної частини приводу, кВт:

$$\mathbf{P \geq P_p / \eta}. \qquad (5.8)$$

Вибір двигуна для роботи у повторно-короткочасному режимі S3. Повторно-короткочасний режим роботи властивий двигунам головного приводу верстатів-автоматів, напівавтоматів, відрізних верстатів. Для них рекомендується застосовувати асинхронні двигуни з підвищеним ковзанням серії 4АС.

Якщо $\mathbf{t_p}$ — час роботи двигуна у циклі роботи верстата (с), $\mathbf{t_o}$ — тривалість паузи (с), то розрахункова тривалість вмикання двигуна:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\mathbf{t_p}}{\mathbf{t_p + t_o}}.$$

Коли $\boldsymbol{\varepsilon}$ = 0,4, номінальну потужність двигуна визначають за залежністю (5.8), а двигун вибирають за каталогом, беручи до уваги, що для них номінальним режимом роботи є повторно-короткочасний при ПВ = 40 %.

Якщо розрахункова тривалість вмикання відрізняється від 0,4, тобто від ПВ = 40 %, визначають потужність, яку може розвивати двигун при розрахунковій тривалості вмикання:

$$\mathbf{P_\varepsilon = P_{\varepsilon_i} \sqrt{\varepsilon_i / \varepsilon}},$$

де $\boldsymbol{\varepsilon_i}$ — стандартна тривалість вмикання (для двигунів серії 4АС $\boldsymbol{\varepsilon_i}$ прийнята 0,15; 0,25; 0,40; 0,60; 1,00);

$\mathbf{P_{\varepsilon_i}}$ — номінальна потужність двигуна при стандартному ПВ (відповідне $\boldsymbol{\varepsilon_i}$), наведена у каталозі, кВт.

При цьому $\boldsymbol{\varepsilon_i}$ вибирають найближчий до $\boldsymbol{\varepsilon}$. Двигун вибирають за потужністю $\mathbf{P_\varepsilon}$.

Вибір двигуна для роботи у режимах S4 та S5 з частими пусками та гальмуваннями або реверсами. Двигуни вибирають за гранично допустимим числом циклів на годину.

Коли відома потужність на шпинделі верстата, визначають із врахуванням ККД приводу потужність на валу двигуна і з каталогу вибирають найближчий за потужністю двигун.

За його технічною характеристикою, параметрами розробленої механічної частини головного приводу, тривалістю циклу роботи верстата $\mathbf{t_ц}$, часом роботи двигуна у циклі та тривалістю паузи знаходять:

– тривалість вмикання $\boldsymbol{\varepsilon}$;

– відношення статичного моменту опору $\mathbf{M_c}$ до номінального моменту вибраного двигуна $\mathbf{M_н}$: $\mathbf{m_c = M_c / M_н}$

– коефіцієнт $\mathbf{k_m}$ за рисунком 5.6;
– коефіцієнт інерції

$$\mathbf{F_i = (I_д + I_м) / I_д ,}$$

де $\mathbf{I_д}$ — момент інерції ротора двигуна, кг·м^2;
$\mathbf{I_м}$ — приведений до вала двигуна момент інерції механізму головного приводу, кг·м^2;

– відношення сумарних втрат попередньо вибраного двигуна при номінальній потужності **P** у тривалому режимі роботи до сумарних втрат при потужності $\mathbf{P_ε}$, що відповідає повторно-короткочасному режиму:

$$\mathbf{k_p = \frac{P(1-\eta)}{P_ε(1-\eta_ε)}},$$

де $\boldsymbol{\eta}$ — ККД двигуна при номінальній потужності;
$\boldsymbol{\eta_ε}$ — ККД двигуна при потужності, що відповідає повторно-короткочасному режиму з тривалістю вмикання **ε.**

Потім для попередньо вибраного двигуна з каталогу знаходять умовно допустиме число $\mathbf{h_0}$ пусків за годину при відсутності статичного та динамічного навантаження. Обчислюють допустиме число **h** пусків двигуна за годину з урахуванням реальних навантажень та режиму роботи:

$$\mathbf{h = \frac{h_o(1-ε)k_m k_p}{F_i}}.$$

Якщо двигун гальмується противмиканням чи реверсується, допустиме число вмикань чи реверсів отримують діленням знайденого значення **h** на 4.

Наступним кроком визначають мінімальну допустиму тривалість циклу роботи верстата, с:

$$\mathbf{t_{ц\ min}} = 3600 / \mathbf{h.}$$

Якщо $\mathbf{t_{ц\ min}}$ більше заданої тривалості циклу $\mathbf{t_ц}$, двигун вибраний невірно. Необхідно взяти більш потужний двигун та повторити для нього розрахунок.

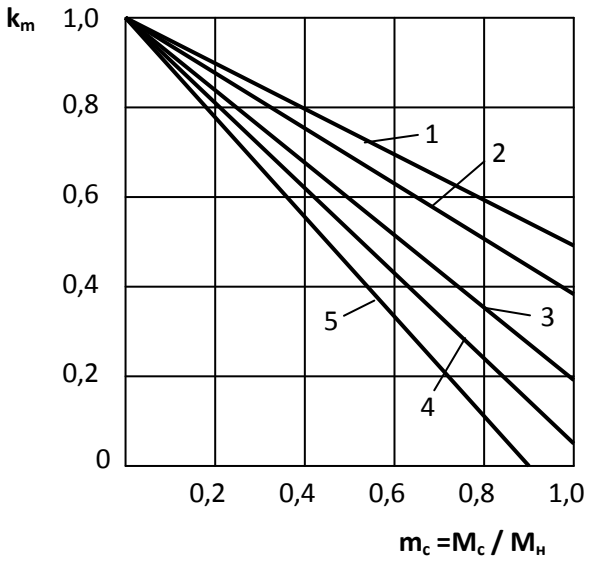


Рисунок 5.6 — Залежність коефіцієнта $\mathbf{k_m}$ від статичного моменту для двигунів серій: 1 — 4АС; 2 — 4А100 – 4А132; 3 — 4А160 – 4А250; 4 — 4А180; 5 — 4А315 – 4А355.

Якщо задані час розгону (пуску) $\mathbf{t_п}$ та час гальмування $\mathbf{t_г}$ шпинделя верстата, двигун перевіряють і за цими критеріями.

Визначають номінальний момент двигуна, Н·м:

$$\mathbf{M_н = \frac{10^3 P}{0{,}105 n_н}}.$$

Потім середній пусковий момент, Н·м:

$$\mathbf{M_{п.ср} \approx 0{,}5\ M_н\ (m_к + m_п)},$$

де $\mathbf{m_к}$ — значення відношення максимального моменту двигуна $\mathbf{M_{max}}$ до номінального $\mathbf{M_н}$ з каталогу;

$\mathbf{m_п}$ — значення відношення його пускового моменту $\mathbf{M_п}$ до номінального.

Визначають час пуску $\mathbf{t_п}$ та час гальмування $\mathbf{t_г}$ шпинделя, с:

$$\mathbf{t_п = \frac{0{,}105 n_н (I_д + I_м)}{M_{п.ср} - M_с}};$$

$$\mathbf{t_г = \frac{0{,}105 n_н (I_д + I_м)}{M_г + M_с}},$$

де $\mathbf{M_г}$ — середній момент гальмування, Н·м ($\mathbf{M_г \approx M_п}$).

Час реверсування шпинделя:

$$\mathbf{t_{рев} = t_п + t_г}\ .$$

Якщо тривалість пуску, гальмування та реверсування недопустимо великі, потрібно взяти з каталогу наступний за потужністю двигун та знову провести усі розрахунки.

Вибір двигуна для роботи у переміжних режимах S6–S8. Такі режими у металорізальних верстатах зустрічаються найчастіше.

Цикл роботи двигуна може містити наступні елементи:

– пуск для розгону шпинделя при статичному моменті опору приводу $\mathbf{M_{c1}}$ та моменті інерції, приведеному до вала двигуна $\mathbf{I_{м1}}$;
– робота при потужності на валу двигуна $\mathbf{P_1}$ протягом часу $\mathbf{t_1}$;
– гальмування противмиканням;
– пауза протягом часу $\mathbf{t_0}$ перед зміною частоти обертання шпинделя;
– розгін шпинделя при $\mathbf{M_{c2}}$ та $\mathbf{I_{м2}}$;
– робота при $\mathbf{P_2}$ протягом часу $\mathbf{t_2}$;
– гальмування противмиканням;
– пауза для знімання обробленої деталі та встановлення заготовки.

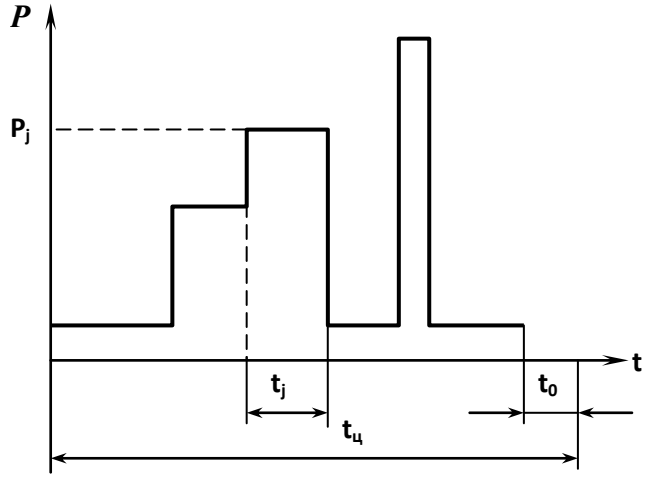


Рисунок 5.7 — Цикловий навантажувальний графік електродвигуна

Вибір двигуна відбувається у такій послідовності.

1. Будують цикловий навантажувальний графік. Для цього на осі абсцис відкладають тривалості $\mathbf{t_j}$ **j**-х інтервалів циклу, на осі ординат – значення потужності двигуна $\mathbf{P_j}$ у **j**-му інтервалі (рисунок 5.7).

2. За навантажувальним графіком визначають найбільшу потужність $\mathbf{P_{max}}$ та потужність втрат у **j** -му інтервалі:

$$\Delta P_j = P_j (1/ \eta_j - 1),$$

де η_j — ККД електродвигуна, що відповідає потужності $\mathbf{P_j}$ (за відповідним графіком.

3. Обчислюють середню потужність втрат за цикл роботи верстата:

$$\Delta P_{ср} = \sum_{j=1}^{q} \Delta P_j t_j / t_ц ,$$

де **q** — число інтервалів у циклі;
$\mathbf{t_ц}$ — час циклу.

4. За перевантажувальною здатністю виконують попередній вибір двигуна за каталогом. Для цього його номінальну потужність **P** визначають, виходячи з найбільшої потужності $\mathbf{P_{max}}$ у циклі роботи:

$$\mathbf{P = P_{max} / \lambda},$$

де $\boldsymbol{\lambda}$ — коефіцієнт перевантаження: при попередньому виборі двигуна $\boldsymbol{\lambda}$ = 1,5.

5. Вибраний двигун перевіряють на нагрів за методом середніх втрат. Для цього знаходять номінальне значення втрат потужності $\mathbf{\Delta P_н}$ у двигуні при роботі з номінальною потужністю **P** у режимі S1:

$$\mathbf{\Delta P_н = P} (1/ \boldsymbol{\eta} - 1),$$

та перевіряють виконання умови:

$$\mathbf{\Delta P_н \geq \Delta P_{ср}}. \qquad (5.9)$$

Якщо умова (5.9) не виконується, попередньо вибраний двигун для даного приводу не підходить за нагрівом.

З каталогу вибирають наступний, більш потужний двигун і повторюють розрахунок.

Більш точна методика вибору двигуна утримує врахування втрат енергії (кДж) у ньому при:

- вмиканні $\mathbf{\Delta A_п} = 0{,}105 \cdot 10^{-3}\ \mathbf{n_н\ M_{п.ср}\ t_п}$;
- гальмуванні $\mathbf{\Delta A_г} = 0{,}315 \cdot 10^{-3}\ \mathbf{n_н\ M_г\ t_г}$;
- реверсуванні $\mathbf{\Delta A_г = \Delta A_п + \Delta A_г}$.

Зниження ефективності охолодження вимкнутого електродвигуна (під час паузи $\mathbf{t_0}$) враховують коефіцієнтом $\boldsymbol{\beta_0}$, а під час пуску та гальмування (внаслідок зниження частоти обертання) — коефіцієнтом $\boldsymbol{\beta_1}$. для двигунів 4АН з потужністю **P** = 1...100 кВт та синхронною частотою 1500 $хв^{-1}$ коефіцієнт $\boldsymbol{\beta_0}$ = 0,5...0,2, а для двигунів 4А $\boldsymbol{\beta_0}$ = 0,45...0,3 (менші значення відносяться до більшої потужності). Коефіцієнт $\boldsymbol{\beta_1} = 0{,}5\ (1 + \boldsymbol{\beta_0})$.

Таким чином, уточнені середні втрати потужності у електродвигуні за цикл роботи у повторно-короткочасних режимах S4, S5 складають, кВт:

$$\mathbf{\Delta P_{ср}} = \frac{\mathbf{\Delta A_п} + \sum_{j+1}^{q} \mathbf{\Delta P_j t_j} + \mathbf{\Delta A_г}}{\boldsymbol{\beta_1 t_п} + \sum_{j+1}^{q} \mathbf{t_j} + \boldsymbol{\beta_1 t_г} + \boldsymbol{\beta_0 t_0}}.$$

Якщо із врахуванням уточнених втрат за цикл роботи умова (5.9) не виконується, слід вибирати більш потужний двигун та повторювати розрахунок.

Література

основна:

Малярчук А.О. Конструювання та розрахунок металорізальних верстатів. Курсове проектування. Частина 1.Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 119 с.

додаткова:

Тарзиманов Г.А. Проектирование металлорежущих станков. — М.: Машиностроение, 1980. – 312 с

Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных втузов / Под ред. В. Э. Пуша, — М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

Кочергин А. И. Конструкция и расчёт металлорежущих станков и станочных комплексов. — Минск: Вышейша школа, 1991. – 382 с.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні початкові дані для виконання кінематичних розрахунків.
2. Що таке діапазон регулювання $R_п$ та як він визначається?
3. Що таке знаменник геометричного ряду φ та як він визначається?
4. Які основні типи передач використовуються у механічній частині електромеханічного головного приводу із ступінчастим регулюванням?
5. Що називають нормальною кінематичною структурою приводу?
6. Поясніть особливості приводів із частковим перекриттям ступенів частот обертання.
7. Назвіть основні переваги приводів складеної структури.
8. Назвіть основні переваги застосування двошвидкісних двигунів у головному приводі із ступінчастим регулюванням.
9. Назвіть основні види втрат потужності у головному приводі верстата.
10. Як здійснюється попередній вибір асинхронного електродвигуна для приводу?

6. ШПИНДЕЛЬНІ ВУЗЛИ

6.1 Вимоги до шпиндельних вузлів

Шпиндельний вузол верстата складається із шпинделя, його опор та приводного елемента. У шпинделі виділяють передній кінець, що утримує інструмент чи пристосування, міжопорну ділянку, виліт переднього кінця.

На шпиндель діють навантаження від сил різання, сил на приводному елементі (шків, зубчасте колесо), а також відцентрових сил, які виникають від неврівноваженості деталей самого шпинделя, що обертаються.

Проектування вузла передбачає вибір типу привода, опор, пристроїв для їх змащення та захисту від забруднень, визначення діаметральних розмірів ділянок шпинделя, відстані між опорами та розробку конструкції з усіма необхідними елементами. При проектуванні шпинделя потрібно враховувати ряд вимог, що забезпечують задані параметри технічної характеристики верстата.

Головні вимоги до шпиндельних вузлів.

1. Точність обертання шпинделя, яка характеризується радіальним та осьовим биттям переднього кінця, найбільше впливає на точність оброблюваних деталей. Допустиме биття шпинделя універсальних верстатів повинно відповідати державним стандартам. Биття шпинделя спеціальних верстатів не повинно бути більшим 1/3 допуску на лімітований розмір оброблюваної на верстаті деталі.

2. Жорсткість шпиндельного вузла характеризується його деформаціями від дії навантажень. Допустима мінімальна жорсткість верстатів нормального класу точності складає 200 Н/мкм, прецизійних — 400 Н/мкм. Допустимий кут повороту шпинделя у передній опорі через нерівномірний розподіл навантаження між тілами кочення підшипників приймається в межах 0,0001...0,00015 рад. Кут повороту шпинделя під приводним зубчастим колесом допускається від 0,00008 до 0,0001 рад, а вигин у цьому місці не повинен перевищувати 0,01**m** (**m** — модуль зубчастого колеса).

Вимоги до жорсткості шпинделя можна подати інакше. Для забезпечення працездатності шпиндельних підшипників необхідно забезпечити таке співвідношення між діаметром **d** шпинделя та міжопорною відстанню **l**:

$$\mathbf{d} \geq \sqrt[4]{(0{,}05...0{,}1)\mathbf{l}^3}\ .$$

Допустиме радіальне зміщення переднього кінця шпинделя від дії робочих навантажень не повинно перевищувати 1/3 допуску на розмір оброблюваної на верстаті деталі.

3. Високі динамічні якості (вібростійкість) характеризуються амплітудою коливань переднього кінця шпинделя та частотою власних коливань. Вібрації, що виникають у шпиндельному вузлі, негативно позначаються на точності та чистоті оброблюваних поверхонь, стійкості інструменту та продуктивності верстата. Бажано, щоб власна частота коливань шпинделя була не нижче 500...600 Гц.

4. Температурні деформації шпиндельного вузла впливають на точність обробки та працездатність опор. В залежності від класу точності верстата встановлено обмеження на допустимий нагрів зовнішнього кільця підшипника (таблиця 6.1).

5. Довговічність шпиндельних вузлів залежить від довговічності опор шпинделя, яка у свою чергу залежить від ефективності системи змащення, ущільнень, частоти обертання, величини попереднього натягу у підшипниках кочення та інших параметрів. Довговічність шпиндельних вузлів не регламентується, її визначають за втомлюваністю, зносом деталей підшипника або втратою змащувальних властивостей масла. Діаметр шийки шпинделя вибирають за критерієм жорсткості, що звичайно забезпечує довговічність підшипників до $\mathbf{L} = (12...13)\cdot 10^3$ год. При застосуванні безконтактних опор (гідростатичних, гідродинамічних, газостатичних) довговічність теоретично вважають необмеженою.

Таблиця 6.1 — Допустимий нагрів зовнішнього кільця підшипника

Клас точності верстата	**Н**	**П**	**В**	**А**	**С**
Допустима температура зовнішнього кільця, °С	70	50...55	40...45	35...40	28...30

6.2 Приводи шпинделів

Для передачі крутного моменту на шпиндель застосовують зубчасті передачі, пасові, інерційний привод, а також спеціальні пристрої, наприклад, високочастотні асинхронні електрошпинделі. Тип приводного елемента вибирають в залежності від частоти обертання шпинделя, крутного моменту, що потрібно передавати, компонування верстата та вимог до плавності обертання шпинделя.

Найбільшого поширення набули зубчасті та пасові передачі, а також муфти на задньому консольному кінці шпинделя. Кожний з пристроїв має свої переваги, недоліки та сфери застосування.

Зубчасті передачі здатні передавати великі крутні моменти, прості за конструкцією, компактні. Але похибки виготовлення передачі знижують плавність обертання шпинделя та викликають додаткові динамічні навантаження у приводі. Зубчасту передачу звичайно застосовують, коли частота обертання шпинделя не перевищує 2000...3000 $хв^{-1}$. При високій точності виготовлення та монтажу передачі вона може бути застосована і при більш високих частотах обертання. Положення приводного зубчастого колеса на шпинделі впливає на вигин переднього кінця. На рисунку 6.1 зображено дві можливі схеми з найбільшим взаємним впливом сили у зубчастому зачепленні (**Q**) та сили різання (**P**): схема **а** — обидві сили направлені у одному напрямку; схема **б** — сили різання та у зубчастому зачепленні мають протилежні напрямки. З аналізу наведених схем видно, що реакція у передній опорі більша

у першому випадку ($\mathbf{R_{1\,I} > R_{1\,II}}$), а вигин переднього кінця більший у другому випадку ($\mathbf{\delta_I < \delta_{II}}$). Привод за схемою **а** рекомендується для точних верстатів, за схемою **б** — для верстатів, що виконують чорнову обробку. З метою підвищення точності обертання шпинделя часто його роблять розвантаженим від дії сил у зубчастому зачепленні. Для цього приводне зубчасте колесо, що знаходиться на шпинделі, розміщують на окремій втулці з власними підшипниками, а крутний момент на шпиндель передається шліцьовим з'єднанням. Інший шлях зменшення впливу сил у зубчастому зачепленні на вигин переднього кінця шпинделя полягає у розміщенні зубчастого колеса ближче до передньої опори.

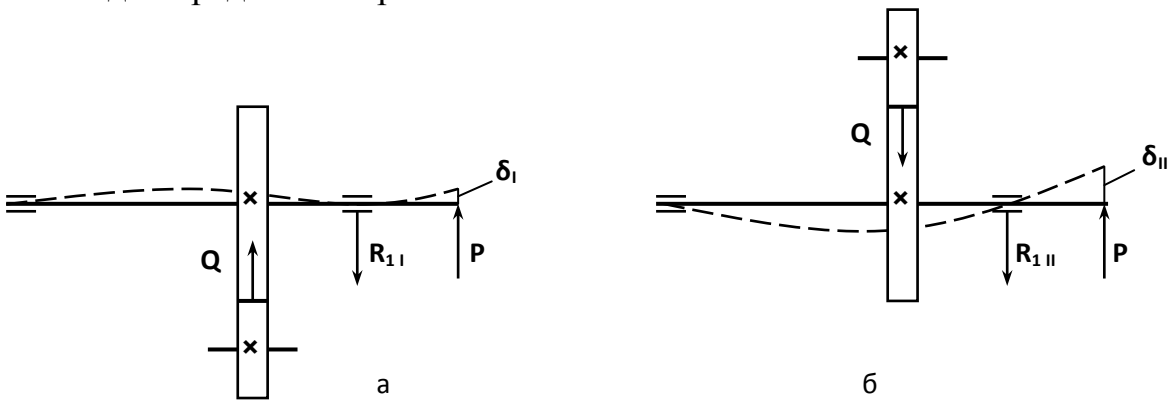


Рисунок 6.1 — Схеми розташування приводного зубчастого колеса на шпинделі верстата: **а** — сила різання та сила у зачепленні направлені у одну сторону; **б** — сила різання та сила у зачепленні направлені протилежно; **P** — сила різання; **Q** — сила у зачепленні; $\mathbf{R_{1\,I}}$; $\mathbf{R_{1\,II}}$ — реакції у опорі; $\mathbf{\delta_I}$; $\mathbf{\delta_{II}}$ — вигин переднього кінця шпинделя.

Пасові передачі забезпечують плавне обертання шпинделя, знижують динамічні навантаження у приводі верстата, коли проводиться переривчасте різання. Але ці передачі мають порівняно великі габарити, оскільки для підвищення точності обертання шпиндельного вузла та зниження навантажень на опори шпинделя від сили на тяжіння паса шків роблять розвантаженим. Пасову передачу застосовують при різних частотах обертання шпинделя, у тому числі і при відносно високих (6000 $хв^{-1}$ і більше), коли колова швидкість паса досягає 60...100 м/с.

У верстатах застосовують так звані мотор-шпинделі. Конструктивна схема одного з таких шпинделів зображена на рисунку 6.2. До його складу входить асинхронний електродвигун, ротор 3 якого закріплений на шпинделі 4 між передньою та задньою опорами, система примусового охолодження з блоком електровентиляторів 1 та фільтрами 2 для очищення охолоджувального повітря, вузол вмонтованого теплового захисту, а також вимірювальний перетворювач кутового положення шпинделя. Розроблені мотор-шпинделі для токарних верстатів, що не мають важких режимів різання при роботі у нижній частині діапазону частот обертання шпинделя. Одна з конструкцій такого мотор-шпинделя має номінальну потужність 6,5 кВт при максимальній частоті обертання 5200 $хв^{-1}$. У мотор-шпинделях, призначених для роботи у

широкому діапазоні частот обертання, між валом двигуна та шпинделем встановлюють механічні передачі, наприклад, планетарні редуктори. Мотор-шпиндель у комплекті з електронним перетворювачем частоти обертання являє собою уніфікований електропривод головного руху. При розробці ряду мотор-шпинделей передбачають можливість вмонтовування їх у головні приводи токарних, токарно-револьверних, багатоцільових, вертикальних та поздовжньо-фрезерувальних верстатів з ЧПК. Застосування таких мотор-шпинделей дозволяє зменшити масу верстата, втрати енергії у головному приводі, рівні шуму та вібрацій.

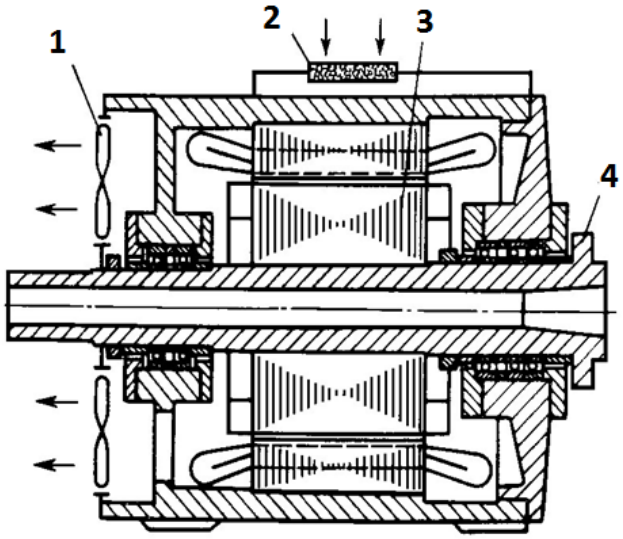


Рисунок 6.2 — Конструктивна схема мотор-шпинделя

У особливо високоточних верстатах застосовують головний привод з відокремленим від шпиндельної бабки регулівним електродвигуном, вал якого з'єднують зі шпинделем еластичною муфтою, що містить тепло- ізолювальний елемент. У верстатах нормальної точності електродвигун та шпиндель з'єднують жорсткою муфтою.

З метою повного усунення передачі збурень від електродвигуна на шпиндель застосовують інерційний привод. Шпиндель з'єднується з джерелом енергії, розганяється до робочої швидкості, а потім від'єднується від приводу. Обробка деталі проводиться після вимикання двигуна. Для збільшення запасу кінетичної енергії на шпиндель іноді встановлюють маховик.

6.3 Конструкції переднього кінця шпинделя

Передній кінець шпинделя призначений для базування та закріплення ріжучого інструменту, оброблюваної деталі чи пристосування. Конструкції та розміри передніх кінців шпинделів стандартизовані. В усіх шпинделях точне центрування та жорстке спряження інструменту із шпинделем забезпечує конічне з'єднання з різною конусністю, в залежності від типу верстата. Так у випадку ручної заміни інструменту застосовують конуси Морзе та метричний

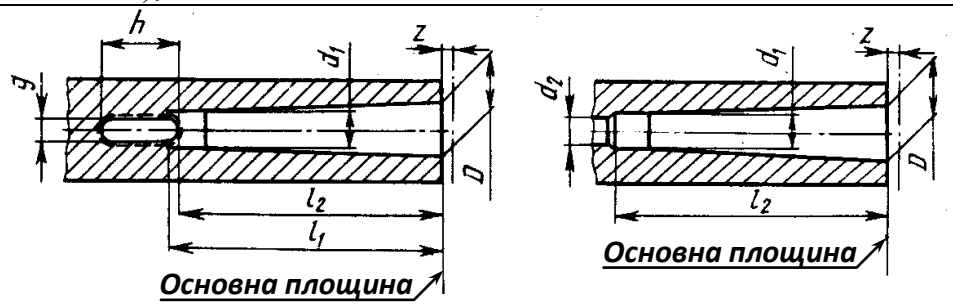
(позначення та номінальні розміри наведені у таблиці 6.2). У верстатах з ЧПК, де інструмент заміню-ється автоматично, застосовують конуси з конусністю 7:24 (таблиця 6.3), шпинделі шліфувальних верстатів мають конусність 1:3.

Шпинделі малих токарних верстатів звичайно виготовляють з нарізним переднім кінцем (таблиця 6.4), середніх та великих — фланцевими під поворотну шайбу (таблиця 6.5), точних токарних верстатів — фланцевими без поворотної шайби.

Застосування фланцевих кінців під поворотну шайбу дозволяє швидко закріплювати та знімати патрони без згвинчування гайок. При використанні фланцевих кінців без поворотної шайби виліт шпинделя зменшується, але трудомісткість встановлення та зняття патрона зростає.

Кінці шпинделів свердлильних, розточувальних та фрезерувальних верстатів виконують за відповідними стандартами. Шпинделі з конусністю отвору 7:24 виготовляють чотирьох виконань. Виконання 5 з конусами від 30 до 70 застосовують у свердлильних та розточувальних верстатах, з конусами 30, 40, 45, 50 — на фрезерувальних верстатах, виконання 6 з конусами 50, 55 та 60, а також 7 з конусом 70 застосовують на розточувальних та фрезерувальних верстатах (таблиця 6.6). Перший та другий ряди діаметрів у таблиці 6.6 призначені для свердлильних та розточувальних верстатів, третій — для фрезерувальних, четвертий — у окремих випадках за погодженням із замовником. З конусами Морзе та метричними виготовляють шпинделі трьох виконань. Виконання 1 застосовують у свердлильних та розточувальних верстатах при встановленні інструментів, що мають хвостовик з лапкою, виконання 2 — у тих же верстатах для встановлення хвостовиків інструментів з різьбовим отвором (таблиця 6.7). Шпинделі виконання 3 з метричним конусом та торцевою шпонкою застосовують у розточувальних верстатах.

Таблиця 6.2 — Розміри інструментальних конусів Морзе та метричних (за СТ СЭВ 147 – 75), мм

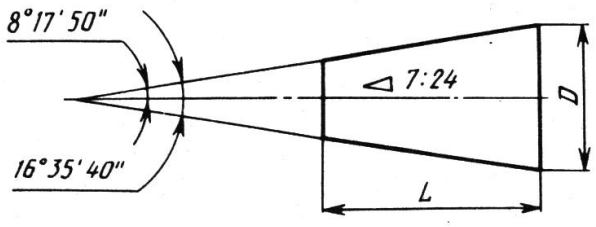


Позначення конуса	**D**	**d_1**	**d_2**	**l_{1min}**	**l_2**	**g**	**h**	**z**
Морзе:								
0	9,045	6,7	—	52	49	3,9	15	1
1	12,065	9,7	7	56	50	5,2	19	1
2	17,78	14,9	11,5	67	62	6,3	22	1

Продовження таблиці 6.2

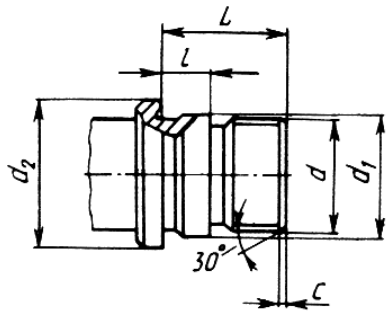
3	23,825	20,2	14	84	78	7,9	27	1
4	31,267	26,5	18	107	98	11,9	32	1,5
5	44,399	38,2	23	135	125	15,9	38	1,5
6	63,348	54,6	27	188	177	19	47	2
Метричний:								
4	4	3	—	25	21	2,2	8	0,5
6	6	4,6	—	34	29	3,2	12	0,5
80	80	71,5	33	202	186	26	52	2
100	100	90	39	240	220	32	60	2

Таблиця 6.3 — Розміри внутрішніх та зовнішніх конусів з конусністю 7:24 (за ГОСТ 15945 – 82), мм



Позначення конуса	D	L	Позначення конуса	D	L
10	15,87	21,8	50	69,85	103,7
15	19,05	26,9	55	88,90	132
25	25,4	39,8	60	107,95	163,7
30	31,75	49,2	65	133,35	200
35	38,1	57,2	70	165,1	247,5
40	44,45	65,6	75	203,2	305,8
45	57,15	84,8	80	254	390,8

Таблиця 6.4 — Різьбові кінці шпинделів (за ГОСТ 16868–71), мм

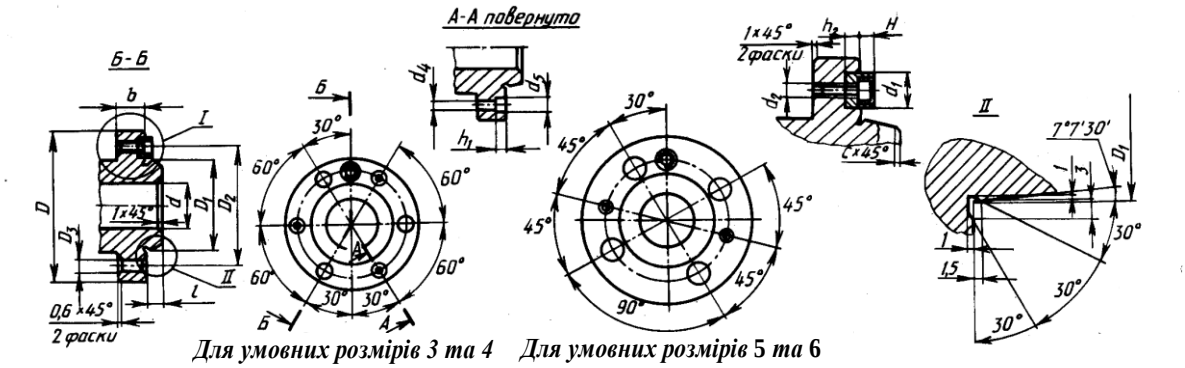


Нарізка		d_1	d_2	L	l	c
d	Крок					
M39	4	40	50	35	14	2
M45	4,5	48	60	40	15	2

Примітки.

1. Різь — за СТ СЕВ 182-75. Допуски на різь по середньому класу точності з посадкою 6g — за ГОСТ 16093-81.
2. Проточка типу 1 вузька — за ГОСТ 10549-80.

Таблиця 6.5 — Фланцеві кінці шпинделів під поворотну шайбу, мм

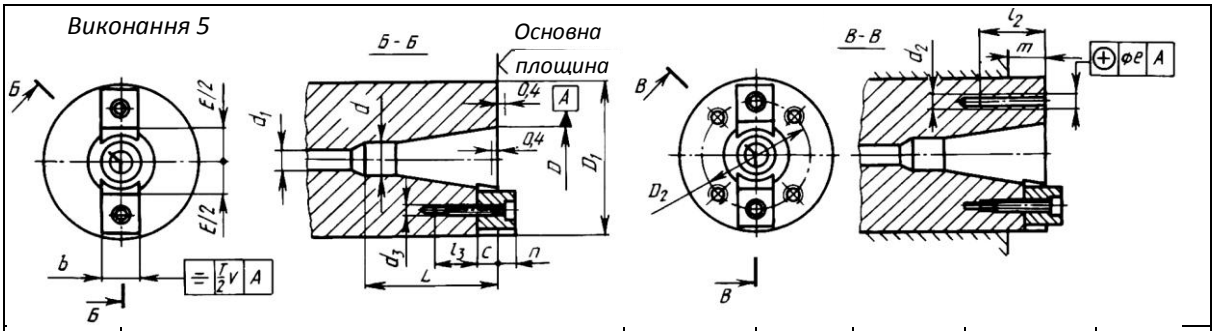


Умовний розмір кінця шпинделя	D	D_1	D_2	d, не більше			d_1	d_2
				Цилін-дричний отвір	Конус Морзе	Конус метри-чний		
3	102	53,975	75	Не регламентується	4	—	—	—
4	112	63,513	85		4	—	14	M6
5	135	82,563	104,8		5	—	16	M6
6	170	106,375	133,4		6	80	19	M8

Продовження таблиці 6.5

Умовний розмір кінця шпинделя	d_3	d_4	d_5	l	b	H	h_1	h_2	c	Гвинт
3	17	7	11	11	16	—	—	10	1	—
4	17	7	11	11	20	5	5	10	1	М6х14
5	21	7	11	13	22	5	6	10	1	М6х14
6	23	9	14	14	25	5	8	11	1,2	М8х20

Таблиця 6.6 — Кінці шпинделів свердлильних, фрезерувальних та розточувальних верстатів (за ГОСТ 24644–81), мм



Позначення конуса кінця шпинделя	D_1				D_2	e	d	d_1, не менше	d_2
	1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд	4-й ряд					
30	—	50	70	69,832	54	0,15	17,4	17	М10
40	80	65; 90	90	88,882	66,7	0,15	25,3	17	М12
45	80; 100	90	100	101,6	80	0,15	32,4	21	М12
50	100; 125	110	125	128,57	101,6	0,2	39,6	27	М16
55	160	—	150	152,4	120,6	0,2	50,4	27	М20
60	200	220	220	221,44	177,8	0,2	60,2	35	М20
70	250	—	335	335	265	0,25	92,9	42	М24

Продовження таблиці 6.6

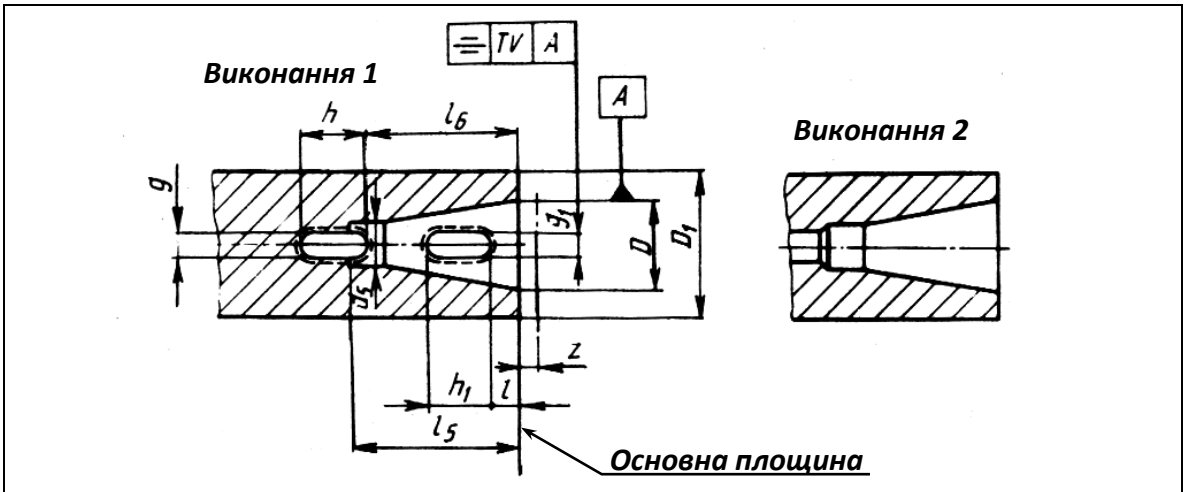
Позначення конуса кінця шпинделя	d_3	L, не менше	l_2, не менше	l_3	c	m, не менше	n	E/2	b	Гвинт	v
30	M6	73	16	9	8	12,5	8,0	16,5	15,9	M6x16	0,03
40	M6	100	20	9	8	16	8,0	23	15,9	M8x20	0,03
45	M8	120	20	13	9,5	18	9,5	30	19	M8x20	0,03
50	M10	140	25	18	12,5	19	12,5	36	25,4	M10x30	0,04
55	M10	178	30	18	12,5	25	12,5	48	25,4	M10x30	0,04
60	M10	220	30	18	12,5	38	12,5	61	25,4	M10x30	0,04
70	M12	315	36	24	20	50	20,0	90	32	M12x45	0,04

Примітки:

Розмір **D** — за ГОСТ 15945-82.

1. 1-й та 2-й ряди — для свердлильних та розточувальних верстатів, 3-й — для фрезерувальних верстатів, 4-й ряд використовується за погодженням із замовником.
2. Для 1-го та 2-го рядів d_3 не регламентується.
3. Значення D_2 наведені для 3-го ряду. Для 1-го та 2-го рядів D_2 вибирають за конструктивними міркуваннями з таблиці 5.6.
4. Для верстатів з ЧПК різьбові отвори d_2 допускається не виготовляти.
5. Допускається виготовляти шпинделі з одним або двома виступами, що мають розміри **n** та **b**.
6. Допускається збільшувати довжину гвинта та розміри **c** та l_3.

Таблиця 6.7 – Кінці шпинделів свердлильних та розточувальних верстатів (за ГОСТ 24644 – 81), мм



Позначення конуса	D_1		l	h_1	g_1
	1-й ряд	2-й ряд			
Морзе:					
1	25	—	—	—	—
2	35	—	—	—	—

Продовження таблиці 6.7

3	45	50	28,5	36,5	8,3
4	60	65	28,5	39,5	8,3
5	80	90	28,5	44,5	13
6	100	110	28,5	38,5	16,3
6	125	—	28,5	38,5	16,3
метричний:					
60	125	—	30	44	19
80	160	—	30	44	19
100	200	—	30	52	26
120	250	220	30	60	32
160	320	—	40	76	38

Примітки:

3. Розміри **D**, $\mathbf{d_5}$, $\mathbf{d_6}$, $\mathbf{l_5}$, $\mathbf{l_6}$, **g**, **h**, **z** – за СТ СЕВ 147-75 (див. табл. 6.2).
4. Значення граничних відхилень $\mathbf{g_1}$ — за ГОСТ 24644-81.

5.4 Матеріали шпинделів

Вирішальними факторами, що визначають вибір матеріалу шпинделя, є твердість і зносостійкість робочих шийок і базуючих поверхонь фланців, а також стабільність розмірів і форми шпинделя в процесі його виготовлення і роботи.

Шпинделі верстатів нормальної і підвищеної точності (Н і П), що встановлюються в підшипниках кочення, виготовляють із сталей марок 40Х, 45, 50. В якості основного методу зміцнення рекомендується поверхневе загартування з індукційним нагріванням до отримання твердості 48...56 HRC.

Об'ємне загартування, що забезпечує твердість 56...60 HRC, використовується переважно для шпинделів складної форми, наприклад з конусними отворами невеликого розміру, з фланцями, пазами для кріплення сухарів і т.д., використовується у випадку коли загартування з індукційним нагріванням технологічно важко реалізувати. Зазвичай об'ємному загартуванню піддають тільки передню частину шпинделя. У цьому випадку шпинделі рекомендується виготовляти зі сталі 50Х.

Якщо для робочих поверхонь шпинделів потрібна твердість 54...59 HRC, а об'ємне загартування ускладнене, шпинделі виготовляють із сталей 40ХФА і 18ХГТ з наступним азотуванням або із сталей 18ХГТ і 20Х з подальшою цементацією. Для азотування можливо також застосування сталі марки 40Х, але зносостійкість в цьому випадку буде дещо меншою.

Шпинделі верстатів високої і особливо високої точності (В і А), що встановлюються в підшипники кочення, у зв'язку з високими вимогами до точності виготовлення, постійності розмірів, форми і зносостійкості рекомендується виконувати із сталей марок 40ХФА і 18ХГТ і зміцнювати методом азотування. При виготовленні шпинделів нескладної конфігурації допускається застосування цементації з подальшим загартуванням і відпуском. У цьому випадку шпинделі виготовляють із сталей марок 18ХГТ, 12ХНЗА і 20Х.

Шпинделі, що встановлюються в підшипниках рідинного тертя, повинні мати високу твердість і низьку шорсткість робочих шийок (0,08...0,04 мкм). Основний метод зміцнення шпинделів цієї групи – азотування до твердості 63...68 HRC. Рекомендовані в якості матеріалу шпинделя сталі типу 38ХВФЮА забезпечують високу стійкість азотованої поверхні проти задирів. Для азотованих шпинделів великого діаметру доцільно використовувати сталь марки 38ХЮ.

Застосування сталей з підвищеним або високим вмістом вуглецю, типу 50, У8А, ШХ15, допускається для шпинделів важких верстатів. Робочі шийки і посадочні поверхні в цьому випадку зміцнюють поверхневим загартуванням за допомогою індукційного нагріву до твердості 54...62 HRC. Шпинделі відносно невеликого діаметру (до 70...80 мм) виготовляють марок сталей 18ХГТ і 12ХНЗА, що піддаються з цементації; робочі поверхні цементують і загартовують до твердості 56...60 HRC.

В окремих випадках порожнисті шпинделі великого діаметру доцільно виготовляти з сірого чавуну СЧ15, СЧ21 або високоміцного чавуну з кулястим графітом.

Література

основна:

Малярчук А.О. Конструювання та розрахунок металорізальних верстатів. Курсове проектування. Частина 1.Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 119 с.

додаткова:

Тарзиманов Г.А. Проектирование металлорежущих станков. — М.: Машиностроение, 1980. – 312 с

Кочергин А. И. Конструкция и расчёт металлорежущих станков и станочных комплексов. — Минск: Вышейша школа, 1991. – 382 с.

Контрольні запитання

1. Які функції виконують шпиндельні вузли у верстатах і які до них пред'являються вимоги?

2. Які критерії працездатності характеризують шпиндельні вузли верстатів?

3. Що регламентує вибір схеми фіксації шпинделя?

4. Яким чином вибираються конструктивні форми і розміри передніх кінців шпинделів?

5. Які матеріали застосовуються для шпинделів?

6. Яка рекомендується послідовність проектування шпиндельних опор?

7. Від чого залежить вибір конструкції (типу) підшипника?

8. Які підшипники використовуються в опорах шпинделів залежно від схеми їх фіксації?

9. Що розуміють під попереднім натягом підшипників і яким чином його визначити?

10. Від чого залежить клас точності підшипників опор шпинделя?

11. За рахунок чого можна зменшити величину радіального биття шпинделя?

12. Які системи фіксації підшипників застосовують в шпиндельних вузлах верстатів?

12. Які типи систем змащення застосовуються в шпиндельних вузлах верстатів?

7. НАПРЯМНІ ВЕРСТАТІВ

7.1 Призначення напрямних верстатів і вимоги, що пред'являються до них

Направляючі служать для переміщення по станині рухомих вузлів верстата, забезпечуючи правильність траєкторії руху інструменту або деталі і для сприйняття зовнішніх сил.

Область застосування того чи іншого типу направляючих визначається їх гідністю і недоліками.

До напрямних верстатів висувають такі вимоги:

- Первісна точність виготовлення;
- Довговічність (збереження точності протягом заданого терміну);
- Висока жорсткість;
- Високі демпфируючі властивості;
- Малі сили тертя;
- Простота конструкції;
- Можливість забезпечення регулювання зазору-натягу.

7.2 Класифікація напрямних і їх характеристика

У металорізальних верстатах застосовуються напрямні :

1. Ковзання (змішаного тертя);
2. Кочення;
3. Комбіновані;
4. Рідинного тертя;
5. Аеростатичні.

Залежно від траєкторії руху рухомого вузла напрямні поділяються на:

- прямолінійні;
- кругові.

Залежно від розташування направляючі діляться також на:

- горизонтальні,
- вертикальні,
- похилі.

7.3 Напрямні змішаного тертя (ковзання)

Направляючі змішаного тертя (ковзання) характеризуються високим і непостійним по величині тертям і застосовуються при малих швидкостях переміщення по ним супортів або столів.

Різниця значення сили тертя спокою (сила рушання) порівняно з тертям руху (залежить від швидкості руху) призводить до стрибкоподібного руху вузлів при малих швидкостях.

Це явище не дозволяє застосовувати їх у верстатах з програмним керуванням, а значне тертя викликає знос і знижує довговічність напрямних.

Для усунення цих недоліків застосовуються:

- Спеціальні антискачкові масла;
- Накладки з антифрикційних матеріалів;
- Термообробка до HRC 48 ... 53 (підвищує зносостійкість);
- Спеціальні покриття (хромування);
- Напилювання шаром молібдену;
- Наповнений фторопласт (з коксом, дісульбід молібдену, бронза і т.д. у яких коефіцієнт тертя, як в спокої, так в русі

$$f_{\text{тр}} = 0{,}06 \ldots 0{,}08.$$

Конструктивні форми напрямних ковзання

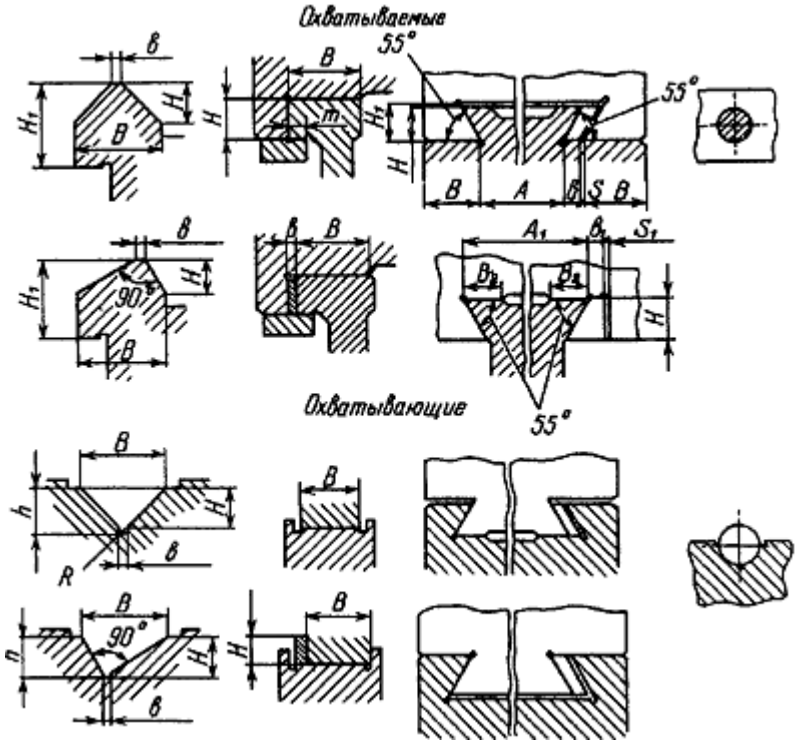
Конструктивні форми напрямних ковзання різноманітні. Основні форми представлені на (рис.1).

Дуже часто використовують поєднання напрямних різної форми.

Трикутні напрямні (рис. 7.1, а) забезпечують автоматичний вибір зазорів під власною вагою вузла, але складні у виготовленні та контролі.

Прямокутні напрямні (рис. 7.1, б) прості у виготовленні та контролі геометричної точності, надійні, зручні в регулюванні зазорів-натягів, добре утримують мастило, але вимагають захисту від забруднення. Вони знайшли застосування у верстатах з ЧПК.

Трапецієподібні (ластівчин хвіст) (рис. 7.1, в) контактні, але дуже складні у виготовленні та контролі. Мають прості пристрої регулювання зазору, але вони не забезпечують високої точності сполучення.



а б в г

Рисунок 7.1 –Конструктивні форми направляючих кавзання: а – трикутні, б – прямокутні, в – трапецеївидні, г – круглі.

Циліндричні направляючі (круглі) (рис. 7.1, г) не забезпечують високої жорсткості, складні у виготовленні і застосовують їх зазвичай при малих довжинах ходу.

Конструктивне оформлення напрямних

Перетину напрямних ковзання нормалізовані, і співвідношення розмірів залежить від висоти напрямних.

Відношення довжини рухомий деталі до габаритної ширині напрямних повинне бути в межах 1,5 ... 2. Довжина нерухомих направляючих приймається такою, щоб не було провисання рухомий деталі.

Механічне кріплення забезпечується, як правило, гвинтами по всій довжині з кроком не більше 2-х кратної висоти накладної планки і забезпечується при цьому фіксація планок в поперечному напрямку виступами, фасками і т.д.

Рідинне тертя між напрямними забезпечується подачею під тиском мастила між поверхнями, що труться або за рахунок гідродинамічного ефекту. При рідинному терті практично виключається знос направляючих, забезпечуються високі демпфуючі властивості і плавність руху, захист від корозії, відвід тепла, видалення продуктів зносу із зони контакту.

Матеріали напрямних. Безпосередній контакт сполучених поверхонь в направляючих змішаного тертя пред'являє високі вимоги до вибору матеріалу. Матеріал багато в чому впливає на зносостійкість напрямних і визначає плавність руху вузлів. Для виключення явища – схоплювання, пару тертя комплектують з різнорідних матеріалів.

Чавунні направляючі з сірого чавуну, виконані за одне ціле з базовою деталлю (станиною), прості і дешеві, але не забезпечують довговічності.

Для підвищення зносостійкості їх піддають:

- загартуванню до твердості HRC 48…53, або
- покривають хромом (при шарі хрому товщиною 25 ... 50 мкм забезпечується твердість до HRC 68…72), а також
- проводять напилення на робочі поверхні направляючих шару молібдену або сплаву з вмістом хрому.

Для виключення схоплювання покривають одну з пар сполучення, як правило, нерухому.

Сталеві направляючі виконуються у вигляді окремих планок, які кріпляться до базових деталей, до сталевих станини приварюють, а до чавунних прикріплюють гвинтами або приклеюють.

Для сталевих накладних направляючих застосовують маловуглецеві сталі (сталь 20, 20Х, 20ХНМ) з подальшою цементацією і загартуванням до твердості HRC 60…65, азотовані сталі 40ХФ, 30ХН2МА з глибиною азотування 0,5мм і загартуванням до твердості HV800-1000.

Кольорові сплави типу бронз БрОФ10-1, Бр.АМц 9-2, цинковий сплав ЦАМ 10- 5 в парі зі сталевими і чавунними напрямними мають високу зносостійкість, виключають зазубрини. Однак через високу вартість вони застосовуються рідко і використовуються тільки у важких верстатах.

Для зниження коефіцієнта тертя і підвищення демпфірування в направляючих ковзання знаходять застосування пластмаси, які володіють хорошими характеристиками тертя, але у них низька зносостійкість при абразивному забрудненні, і незначна жорсткість.

З пластмас для напрямних використовують фторопласт, композиційні матеріали на основі епоксидних смол з присадками дисульфіду молібдену, графіту.

7.4 Гідростатичні напрямні

У металорізальних верстатах все більш широке застосування знаходять гідростатичні напрямні, що мають по всій довжині кишені, в які під тиском подається масло. Мастило, розтікаючись по площі напрямних, створює масляну плівку по всій довжині контакту і витікає через зазор h назовні (рис. 7.2).

За характером сприйняття навантаження гідростатичні напрямні діляться на незамкнуті (рис. 7.2, а, б) і замкнуті (рис. 7.3, в).

Незамкнуті використовуються за умови створення прижимающих навантажень, а замкнуті можуть сприймати, крім того, і перекидні моменти.

Для створення необхідної жорсткості і підвищення надійності в цих напрямних забезпечується регулювання товщини масляного шару, а також використовується системи підведення масла з дроселями перед кожним кишенею (рис. 7.2, б, в) і системи автоматичного регулювання.

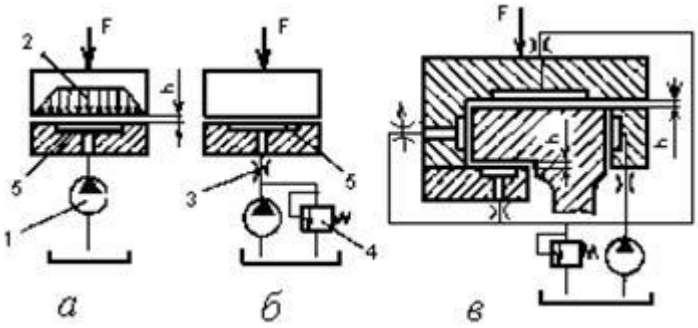


Рисунок 7.2 – Схеми гідростатичних напрямних: а, б – незамкнутих; в – замкнутих; насос, 2 – епюра тисків, 3 – дросель, 4 – запобіжний клапан, 5 – карман.

Класифікація гідростатичних напрямних прямолінійного переміщення дана на рис. 7.3. При невеликому діапазоні навантажень, що діють на вузол верстата, застосовують розімкнуті напрямні, так як їх виготовлення простіше, ніж замкнутих. Останні забезпечують підвищену жорсткість масляного шару завдяки попередньому навантаженні додатковою направляє 2 при підводі до неї масла під тиском.

Її площа, а отже, і несуча здатність часто менше, ніж в основної направляючої 1. Зазвичай на поверхні направляючої рухомого вузла, наприклад салазок 3, передбачають два або більше кармани, які можуть бути відокремлені дренажними канавками 4.

Направляючі можуть мати форму квадрата, прямокутника (для плазунів) або циліндра. Форма карманів (I, II, III) залежить від умов роботи і розмірів верстата. Більшу надійність і демпфірування забезпечує форма кармана III у вигляді замкнутої канавки.

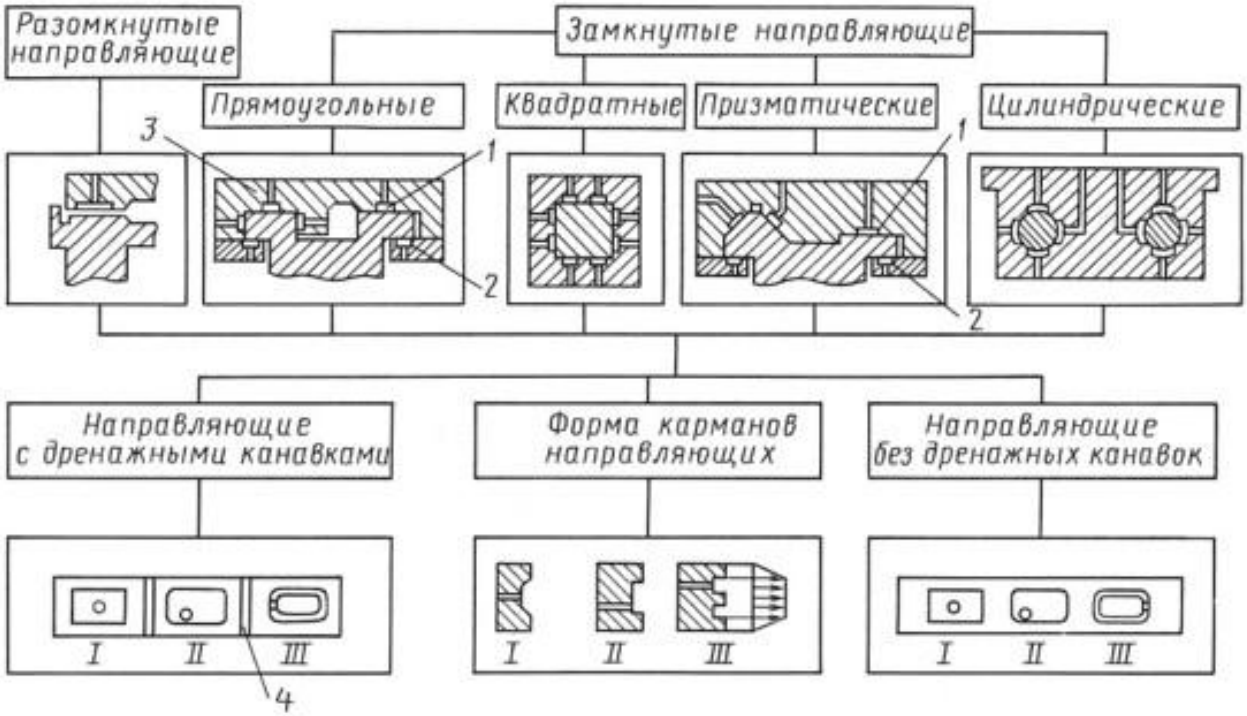


Рисунок 7.3 –Класифікація гідростатичних напрямних прямолінійного переміщення

Основною перевагою гідростатичних напрямних є, те, що вони забезпечують рідинне тертя при будь-яких швидкостях ковзання, а, отже, рівномірність переміщення, і високу чутливість точних переміщень, а також компенсування похибок сполучених поверхонь. Недоліком гідростатичних напрямних є складність системи змащення і необхідність пристроїв фіксації вузла в позиції.

Недоліками гідростатичних напрямних є складність системи мастила і необхідність в окремих випадках мати спеціальні пристрої фіксації переміщуваного вузла в заданій позиції.

7.5 Аеростатичні напрямні

Конструктивно аеростатичні напрямні аналогічні гідростатичним, а поділ поверхонь які труться забезпечується подачею в кармані під тиском повітря.

У аеростатичних напрямних поділ поверхонь які труться отримують за допомогою подачі в карман повітря під тиском, в результаті чого між сполученими поверхнями утворюється повітряна подушка.

Конструктивно аеростатичні напрямні схожі на гідростатичні.

Типова конструкція плоских аеростатичних напрямних складається з декількох секцій (рис. 7.4) розділених дренажними каналами.

Загальне число секцій має бути не менше трьох, переважніше чотири секції, що забезпечують найбільшу кутову стійкість рухомого вузла.

Для утворення рівномірної повітряної подушки по всій площі напрямних їх виконують з декількох окремих секцій, розділених дренажними каналами 3 (рис. 7.4). Розміри секцій $B \geq 30$ мм, $L \leq 500$мм.

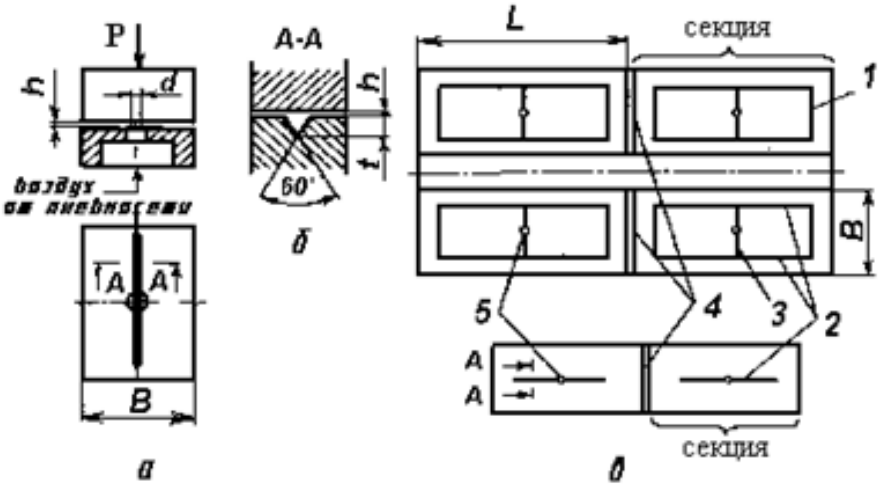


Рисунок 7.4 – Аеростатичні напрямні: а – принципова схема, б – секція опори з замкнутою канавкою, в – секція опори з прямолінійною канавкою

Кожна секція має отвір 5 для підведення повітря під тиском і розподільні канавки 1 і 2 глибиною **t** (рис. 7.4, б) для розподілу повітря по площі секції.

Повітря, що подається під тиском, проходить через дросель і розподіляється по канавках 1-3, при цьому утворюється повітряний прошарок, розділяє поверхні каретки і станини. В зоні, обмеженій мікроканавками, створюється підвищений тиск повітря. За межами мікроканавок тиск повітря плавно знижується до атмосферного.

Призначення мікроканавок – розподіл стисненого повітря по мастильному зазору. Для усунення небезпеки втрати стійкості і збудження інтенсивних коливань за принципом пневмомолотки кишені і розподільні канавки роблять з трикутним профілем для забезпечення невеликого стискуваного об'єму повітря в них.

7.6 Напрямні кочення

У цих напрямних тертя кочення забезпечується вільним перекочуванням кульок або роликів між рухомими поверхнями, або установкою тіл кочення на фіксовані осі (рис. 7.5).

Найбільшого поширення набули направляючі з вільним перекочуванням тіл кочення, так забезпечують більш високу жорсткість, точність руху і застосовують їх у верстатах з малою величиною ходу переміщуваного вузла через відставання тіл кочення (рис. 7.5, б) і напрямні з циркуляцією потоку кульок або роликів і їх поверненням (рис. 7.5, в).

Направляючі кочення забезпечують рівномірність і плавність переміщення при малих швидкостях, високу точність настановних переміщень.

Недоліками напрямних кочення є:

- Висока вартість;
- Трудомісткість виготовлення;
- Низьке демпфірування коливань;
- Підвищена чутливість до забрудненням.

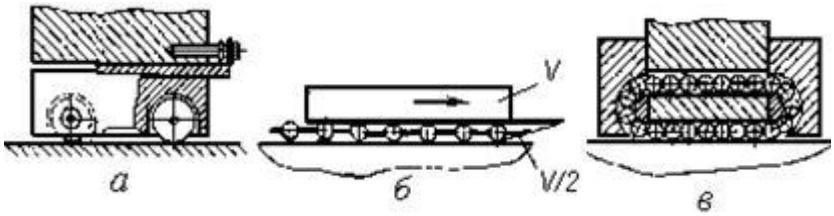


Рисунок 7.5 – Схеми напрямних кочення: а – на роликах з зафіксованими осями, б – з потоком тіл кочення, в – з поверненням тіл кочення, V – швидкість переміщення вузла

Конструктивне оформлення напрямних кочення

Конструктивні форми напрямних кочення (рис. 7.6) схожі з направляючими ковзання.

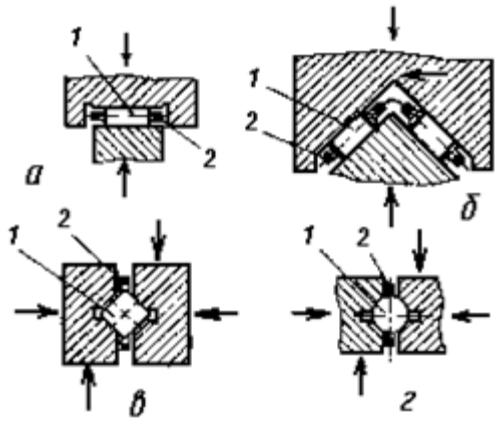


Рисунок 7.6 – Напрямні кочення: а – плоскі, б – призматичні, в – з хрестовим розміщенням роликів, г– кулькові; 1 – тіла кочення, 2 – сепаратор

Число тіл кочення в чому визначає точність руху і їх повинно бути не менше 12 ... 16 і визначається з умови,

$$z = \frac{0.105F}{\sqrt{d}}$$

де F – навантаження на одну кульку, Н; d – Діаметр кульки, мм.

Діаметр тіл кочення вибирають з умови, що відношення довжини до діаметру: при $l/d = 1$ приймають d=5…12мм, а при $l/d = 3$ приймають d=5…20 мм.

Для підвищення жорсткості в напрямних кочення створюють попередній натяг шляхом підгонки розмірів або регульованими пристроями. Направляючі з

циркуляцією тіл обертання виконуються без сепаратора з суцільним потоком кульок або роликів, причому вони можуть виконувати у вигляді окремого елемента, що представляє собою підшипник кочення - опору.

У верстатах знайшли застосування роликові опори, що випускаються вітчизняною промисловістю, нормальної Р88, вузькою Р88У і широкої Р88Ш серій (рис. 7.7).

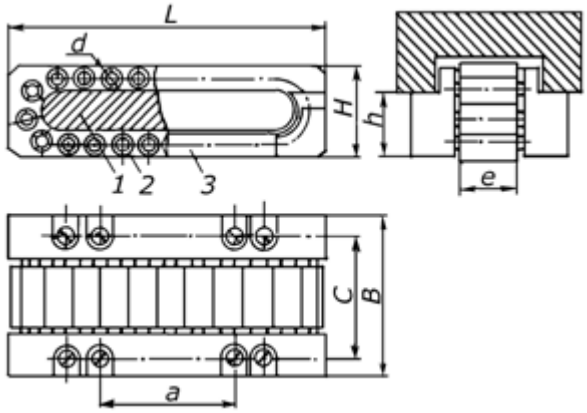


Рисунок 7.7 – Роликова опора з циркуляцією роликів: 1 – напрямна, 2 – ролики, 3 – обойма

Матеріал напрямних кочення

Для напрямних кочення застосовуються в основному сталеві загартовані робочі поверхні з підвищеними вимогами до твердості і однорідності.

Найчастіше застосовується підшипникова сталь марок ШХ9, ШХ15 з об'ємним гартуванням до твердості HRC 60 ... 62, маловуглецеві стали 20ХГ, 18ХГТ, коли потрібна додаткова механічна обробка.

Для підвищення зносостійкості напрямних їх піддають цементації. Глибина цементованого шару повинна бути не менше 0,8 ... 1 мм.

Висновок

Таким чином, ми розглянули основні конструкції напрямних верстатного обладнання, вибір яких визначається їх призначенням і вимогами, що пред'являються до них.

Від правильного вибору конструкції напрямних, матеріалів для їх виготовлення і режимів мастила в чому залежить їх довговічність, працездатність і точностниє характеристики верстата в цілому.

Література

основна:

Малярчук А.О. Конструювання та розрахунок металорізальних верстатів. Курсове проектування. Частина 1. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 119 с.

додаткова:

Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных втузов / Под ред. В. Э. Пуша, — М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

Кочергин А. И. Конструкция и расчёт металлорежущих станков и станочных комплексов. — Минск: Вышейша школа, 1991. – 382 с.

Контрольні запитання

1. Яку функцію виконують напрямні у верстатах?
2. Які види направляючих застосовуються у верстатах?
3. Які вимоги пред'являються до напрямних верстатів?
4. Які конструктивні форми мають напрямні ковзання?
5. Які матеріали застосовуються для напрямних ковзання?
6. Як поділяються гідростатичні напрямні за характером сприйняття навантаження?
7. Яким чином забезпечується рівномірна повітряна подушка по всій площі аеро- і гідростатичних напрямних?
8. Які матеріали використовуються для виготовлення напрямних кочення?

8. ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ

8.1 Загальні відомості, призначення і класифікація промислових роботів

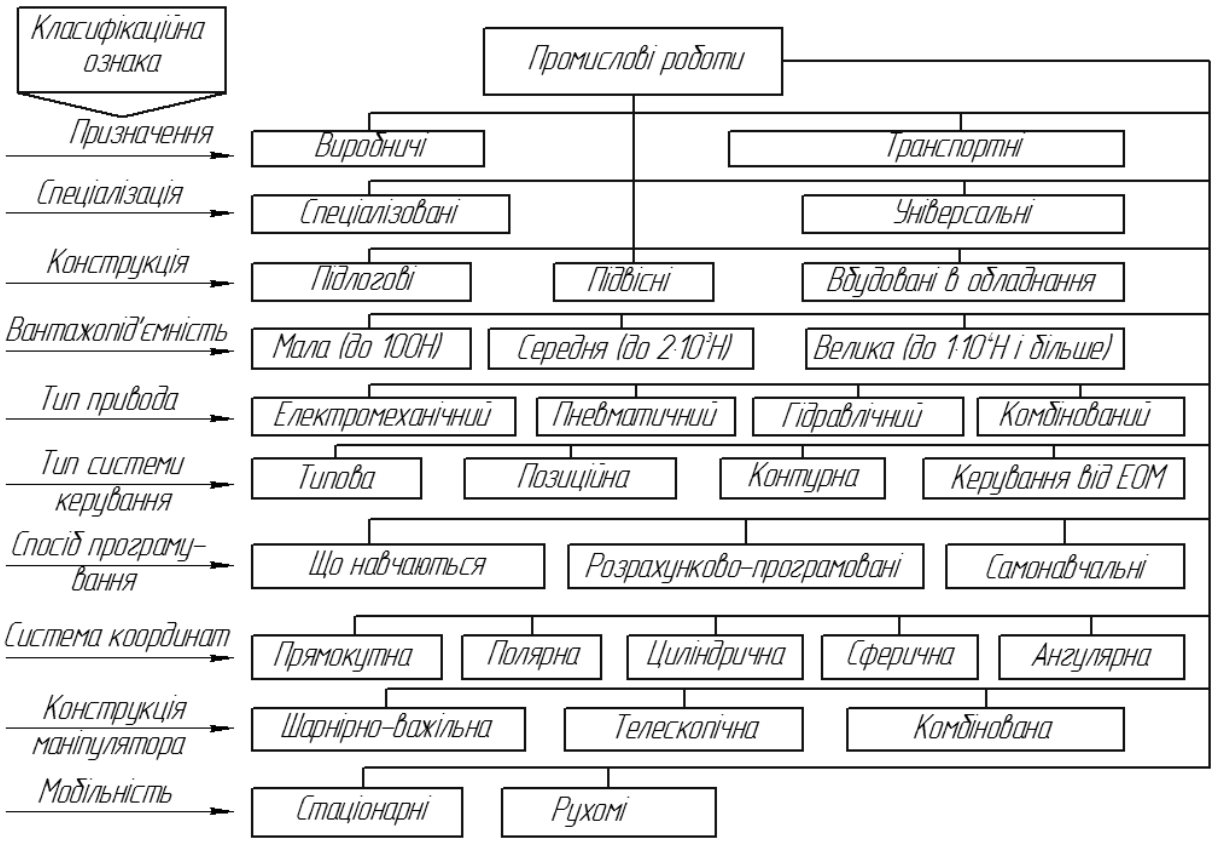
Промисловий робот (ПР) це машина-автомат, що призначена для відтворення деяких рухових функцій людини при виконанні допоміжних і основних виробничих операцій і має деякі здібності людини (силу, пам'ять), а також спроможність до навчання для роботи в комплексі з іншим обладнанням і пристосуванням в виробничому середовищі. Робот складається з маніпулятора, системи програмного керування (ПК) і інформаційної системи.

Маніпулятор – обладнання, що призначене для виконання рухових функцій, аналогічних функціям руки людини при переміщенні тіла в просторі, керується оператором або діє автоматично.

Система ПК – це сукупність засобів, призначених для формування і видачі керуючих дій маніпулятору в відповідності з заданою програмою.

Інформаційна система складається з технічних засобів, що забезпечуют ь отримання, перетворення, обробку і передачу інформації про стан ПР і зовнішнього середовища.

ПР можна умовно класифікувати за такими ознаками: призначенням, спеціалізацією, конструкцією, вантажопідйомністю, типом приводу, типом системи керування, способом програмування, системою координат, конструкцією маніпулятора, мобільністю. Класифікація промислових роботів представлена на рисунку нижче:



За призначенням ПР можна умовно поділити на два основних види: виробничі і транспортні. Виробничі роботи застосовуються для виконання технологічних операцій різних видів виробництв – ливарного, ковальсько-нресового, штампувального, зварювального, механооброблювального, складального, фарбувального. Транспортні роботи використовуються для міжопераційнної передачі заготовок, для автоматичного завантаження і розвантаження різноманітного металооброблювального обладнання, для завантаження готових виробів у тару та їхнього складування.

Роботи можуть бути спеціалізованими і універсальними. Спеціалізовані роботи призначені як для цільового виконання певних технологічних операцій (фарбування, зварювання, шліфування), так і для допоміжних робіт по обслуговуванню металорізальних систем, автоматизованих технологічних комплексів, гнучких виробничих систем. Універсальні роботи призначені для виконання основних, допоміжних, транспортних і інших робіт в різних видах машинобудівного виробництва.

В залежності від конструкції ПР діляться на наземні, підвісні та вбудовані в обладнання.

Однією з головних характеристик ПР є його вантажопідйомність, вантажопідйомність робота характеризується загальною найбільшою масою заготовок, з якою він здатний оперувати в будь-якому положенні робочих органів при найбільшій швидкості руху.

Рухи робочих органів робота можуть здійснюватися від механічного, електричного, гідравлічного, пневматичного приводів або їх комбінацій.

Кожний з них має свої переваги і недоліки. Тип приводу выбирають в залежності від призначення робота і умов його експлуатації.

Системи керування ПР здійснюють формування логічної послідовності виконання операщй їхніми робочими органами по заданих параметрах, запам'ятовування просторових координат при виконанні кожної окремої операції і їхнє корегування при відступі від заданих параметрів. Для роботів першої генерації отримали розповсюдження позиційні і контурні системи програмного керування, для роботів другої генерації – системи керування від ЕОМ.

За способом програмування переміщень розрізняють три варіанти ПК роботом:

- з програмуванням шляхом навчання, при якому оператор заздалегідь з допомогою спеціального пульта керування виконує необхідні дії маніпулятора, вручну задає їхні параметри, а після цього вводить в запам'ятовувальний пристрій ПК;

- з розрахунковим програмуванням, при якому керуюча програма підготовлюється за заздалегідь відомою вхідною інформацією і запам'ятовується в пам'яті пристосування ПК;

- з самонавчанням.

Система координат ГІР визначає кінематику основних рухів механічної системи робота і форму робочої зони. При виборі кінематичних схем

використовуються такі системи координат: прямокутна, полярна, циліндрична, сферична, ангулярная (кутова).

В залежності від конструкції маніпулятора ПР бувають з шарнірно-важельними, з телескопічними та комбінованими маніпуляторами.

Під мобільністю слід розуміти спроможність робота в цілому здійснювати переміщення в просторі. В залежності від мобільності роботи діляться на: стаціонарні (наземні, підвісні), пересувні наземні (по рейках, на катках) і підвісні (на балках, на монорейках). Найбільш часто застосовуються стаціонарні роботи, що обслуговують площу з радіусом дії 1000...2600 мм. Для розширення зони дії застосовуються пересувні наземні роботи. Такі роботи водночас обслуговують групу металорізальних верстатів. З метою економії виробничих площ і для ряду типів металорізального обладнання вигідно і більш зручно застосовувати підвісні роботи.

Важливі технічні характеристики ПР: число степенів рухомості, кількість механічних рук і похибка позиціонування. Числом степенів рухомості ПР називається число ступенів вільності ланок кінематичного ланцюга відносно ланки, прийнятої за непорушну. Слід вважати, що достатньо універсальними є такі роботи, що мають 5...7 степенів рухомості, включаючи пристрої пересування. Роботи з більшою кількістю степенів рухомості є високоманевреними і застосовуються, в основному, для складальних робіт, роботи з меншою кількістю степенів рухомості мають спеціальне призначення. Механічна рука ПР являє собою багатоланковий розімкнутий механізм, що закінчується робочим органом в вигляді схвата. Більшість ПР мають одну механічну руку, але є роботи, оснащені двома, трьома і більше механічними руками. Похибка позиціонування робота визначає ступінь точності руху його робочих органів при багаторазовому переміщенні деталей певної маси в задане положення. На точність позиціонування, в основному, впливають вантажопідйомність, конструкція і кінематика робочих органів, тип приводів і системи керування.

Промисловий робот (ПР) – це автоматична машина, що складається з маніпулятора і перепрограмованого пристрою програмного керування, для виконання у виробничому процесі рухових і керованих функцій. Якщо завдання автоматизації обробки деталей вирішується шляхом вживання спеціальних верстатів-автоматів і автоматичних ліній в умовах масового виробництва і верстатів з ЧПУ в умовах дрібносерійного виробництва, то усунення ручної праці на допоміжних операціях, особливо при виготовленні деталей малими партіями, зв'язано з величезними труднощами. Це пов'язано з різноманіттям рухів при виконанні допоміжних операцій. Вирішувати задачу переналадки можна, якщо застосувати промислового робота, керований за заданою програмою.

Промислові роботи при обробці деталей на верстатах виконують наступні основні маніпуляції:

- взяти заготовку з тари;
- перенести її до верстата;
- встановити в пристосування;

- взяти оброблену деталь;
- перенести її і вложити в тару або перенести до іншого верстата.

За конструктивними ознаками ПР можна розділити на наступні групи.

1. Підлогові ПР з горизонтальною висувною рукою і консольним механізмом підйому.
2. Підлогові ПР з горизонтальною висувною рукою, встановленою на підіймальній каретці, що переміщається по направляючим поворотної колони.
3. Підлогові ПР с багатоланковою рукою.
4. Портальні ПР з рукою, встановленою на каретці, що переміщається по монорельсу .
5. Спеціалізовані ПР.
6. Підлогові транспортні візки (робокари)
7. ПР для обслуговування автоматизованих складів.

8.2 Основні види компоновок промислових роботів

Підлогові ПР з висувною рукою і консольним механізмом підйому руки (рис. 8.1) що є найбільш поширеними, функціонують в циліндровій або прямокутній системі координат: привід – пневматичний, електромеханічний і в певних випадках гідравлічний; вантажопідйомність 0,05.20 кг (окремі ПР з гідроприводом мають вантажопідйомність до 60 кг).

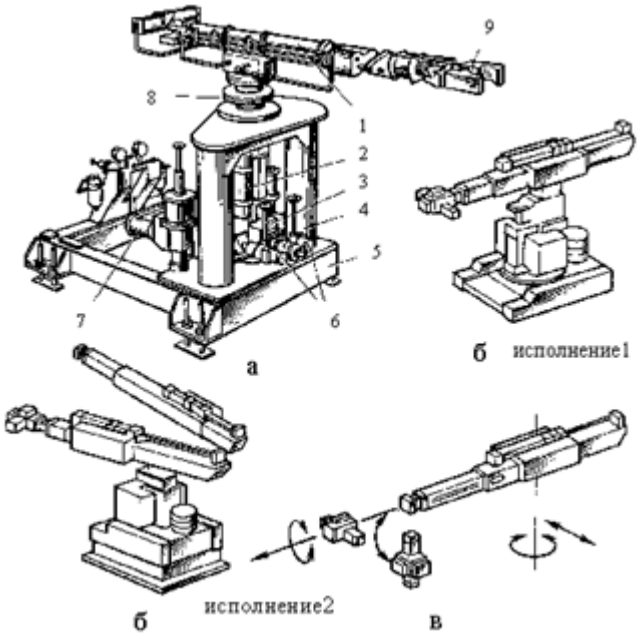


Рисунок 8.1 – Підлоговий пневматичний ПР з висувною рукою і консольним механізмом підйому: а – базова компоновка, б – варіанти виконання, в – основні рухи

ПР даної групи, призначені, як правило, для виконання транспортно-завантажувальних операцій, відрізняються великою швидкодією, оснащені

цикловими системами керування і оснащені упорами, що обмежують переміщення їх рухливих вузлів.

Підлогові ПР з висувною рукою, встановленою на рухливій каретці, мають компоновку, показану на рис. 8.2. Вантажопідйомність таких ПР від 1 до 1000 кг, число степенів рухомості від 3 до 6. Робот працює в циліндровій системі координат. По особливому замовленню робот випускають з переміщенням по рейках 6, що дозволяє істотно розширити його робочу зону.

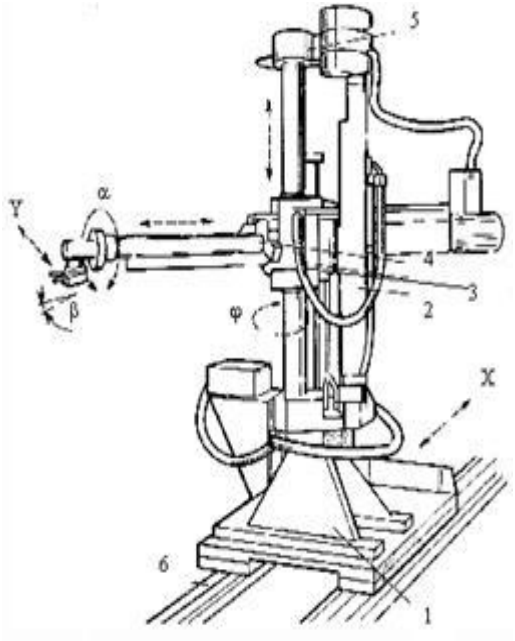


Рисунок 8.2 – Компоновка підлогового ПР з висувною рукою, встановленою на рухомій каретці

Підлогові роботи з висувною рукою (рис. 8.3), що коливається, працюють в полярній сферичній системі координат і мають не менше п'яти мір рухливості. На основі 1 змонтовані гідростанція і механізми повороту руки довкола вертикальної осі. У верхній частині поворотної колони 2 встановлена висувна рука 3, яка під дією гідроциліндра може здійснювати коливальні рухи у вертикальній плоскості.

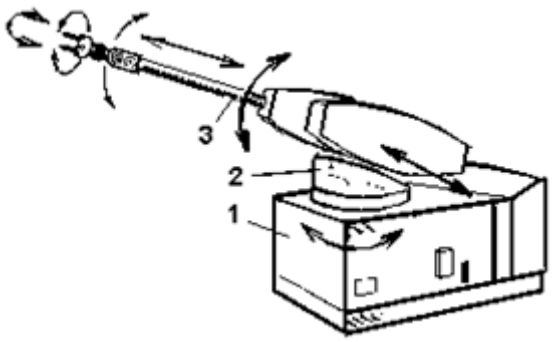


Рисунок 8.3 – ПР з висувною рукою, що працює в сферичній системі координат

У підлогових ПР з багатоланковою рукою (рис. 8.4) всі рухи здійснюються шляхом відносних кутових поворотів ланок руки, що мають постійну довжину. Привід – що стежить, електромеханічний або електрогідравлічний. Основними перевагами багатоланкової руки є її компактність і можливість обслуговування великої зони при малих габаритах механізму. Такі ПР застосовують для автоматизації операцій забарвлення, зварки, збірки, обдирання литва, завантаження устаткування.

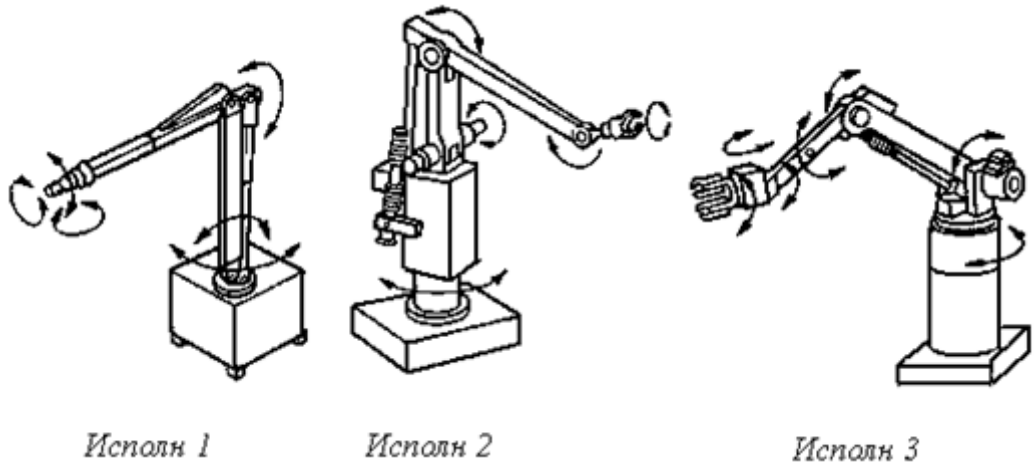


Рисунок 8.4 – Основні варіанти виконань підлогових ПР з багатоланковою рукою

Портальні ПР з рукою, встановленою на каретці (рис. 8.5), що переміщається по монорельсу, застосовуються для обслуговування металорізальних верстатів, автоматичних ліній гальванопокриття, а також для виконання транспортних операцій. Переваги таких ПР – економія виробничої площі і зручність обслуговування устаткування.

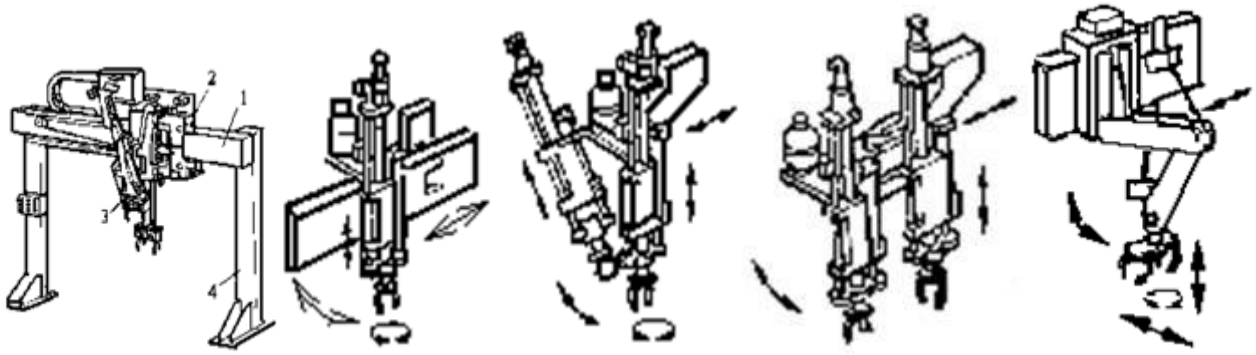


Рисунок 8.5 – Портальний ПР з висувною рукою, встановленою на каретці, що переміщається по монорельсу: а – загальна компоновка, б – з вертикальною висувною рукою, в – з двома висувними руками (одна похила), г – з двома (або трьома паралельними) висувними руками, д – з багатоланковою рукою: 1 – монорельс, 2 – каретка, 3 – рука, 4 – стійка.

Портальні ПР можна розділити на дві групи:

ПР з цикловим програмним керуванням, що працюють в декартовій системі координат і призначені, як правило, для завантаження одного верстата в умовах великосерійного виробництва; ПР з ЧПУ, що забезпечують переміщення захватного пристрою в напрямі, перпендикулярному монорельсу, призначені для обслуговування декількох одиниць устаткування.

Транспортний ПР мод. ТРТ-250-1 (рис. 8.6), призначений для транспортування деталей, укладених в тару, виконаний на базі тельферних візків, що переміщаються по монорельсу.

Вантажопідйомність 250 кг.

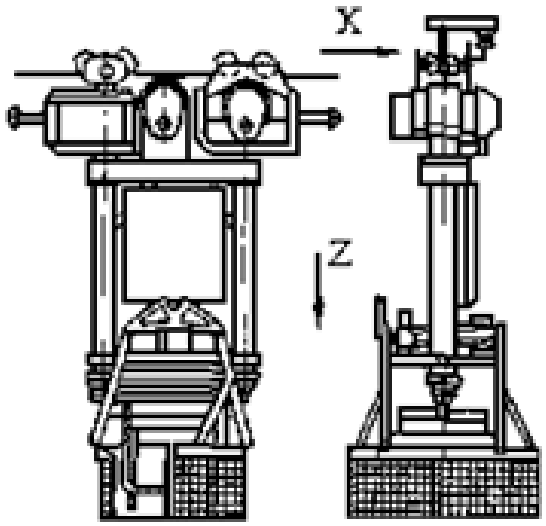


Рисунок 8.6 – Транспортний ПР мод.ТРТ-250-1.

Спеціальні роботи виконують певні технологічні операції, тому їх конструкція залежить від моделі обслуговуваного устаткування. До спеціальних належать ПР, призначені для обслуговування машин для литва під тиском, деяких типів ковальсько-пресового устаткування, а також ПР, що вбудовуються в металорізальні верстати.

Підлогові транспортні візки (робокари) на колісному або гусеничному ходу переміщаються по монорельсу або штучно позначеній трасі.

У конструкціях візків використовують системи автоматичного завдання і стабілізації курсу переміщення: оптичні, електромагнітні, ультразвукові та інші.

При вживанні оптичної системи на підлозі цеху наноситься біла лінія, службовка покажчиком фотоелектричному далекоміру. Останов відбувається в місцях розриву білої лінії.

Найбільше вживання знайшли візки з електромагнітною системою стабілізації курсу, де по трасі прокладається токопровод; конструктивна схема такого візка показана на рис. 8.7.

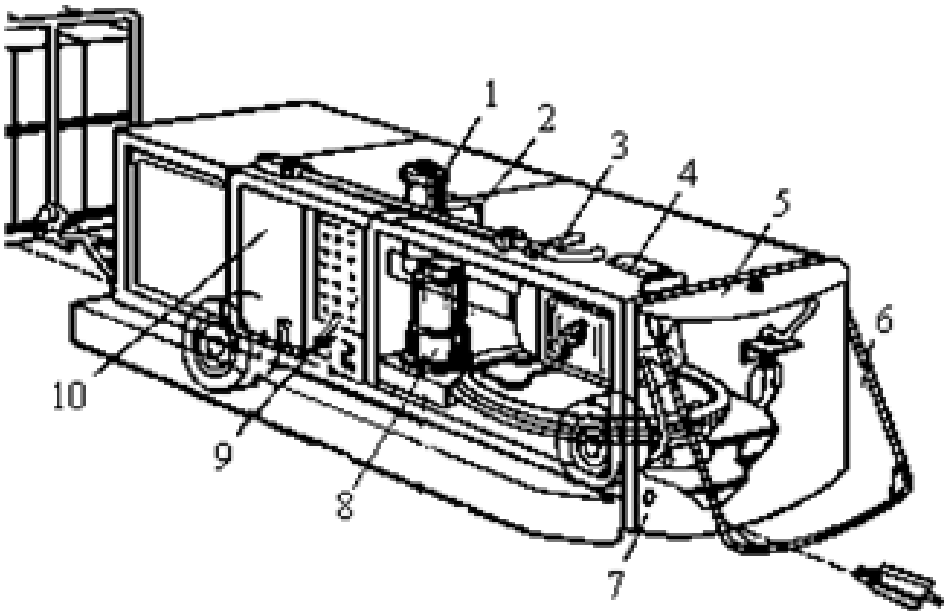


Рисунок 8.7 – Робокар з електромагнітною стабілізацією курсу: 1 – гальмівна котушка, 2 – транзисторний пристрій керування, 3 – рукоятка гальмування, 4 – привід, 5 – сигнальна лампа, 6 – пристрій забезпечення безпеки руху, 7 – буферний щит, 8 – привід пристрою керування, 9 – панель програмування, 10 – акумуляторна батарея

8.3 Захватні пристрої ПР

Захватні пристрої ПР призначені для захоплювання і утримання в певному положенні об'єктів маніпулювання. Ці об'єкти можуть мати різні розміри, форму, масу і володіти різноманітними фізичними властивостями, тому захватні пристрої є змінними елементами.

Як правило, ПР комплектують набором типових (для даної моделі) захватних пристроїв, які можна змінювати в залежності від вимог конкретного робочого завдання. Іноді на типової захоплення встановлюють змінні робочі елементи (губки, присоски тощо). У разі необхідності ПР оснащують спеціальними захватними пристроями, призначеними для виконання певних операцій.

До числа обов'язкових вимог, що пред'являються до захватних пристроїв, відносяться:

1. надійність захоплення та утримання об'єкта;
2. стабільність базування.
3. точність базування.

Особливу увагу слід звертати на надійність кріплення захватних пристроїв до руці ПР.

Найбільш поширеними є механічні захватні пристрої.

Некеровані захватні пристрої типу пінцета (рис. 8.8, а) або типу кліщів (рис. 8.8, в, г) утримують деталь завдяки пружним властивостям затискних елементів, а звільняють її примусово з допомогою додаткових пристроїв.

Захоплення такого виду застосовують в умовах масового виробництва при маніпулюванні з об'єктами невеликих мас і розмірів.

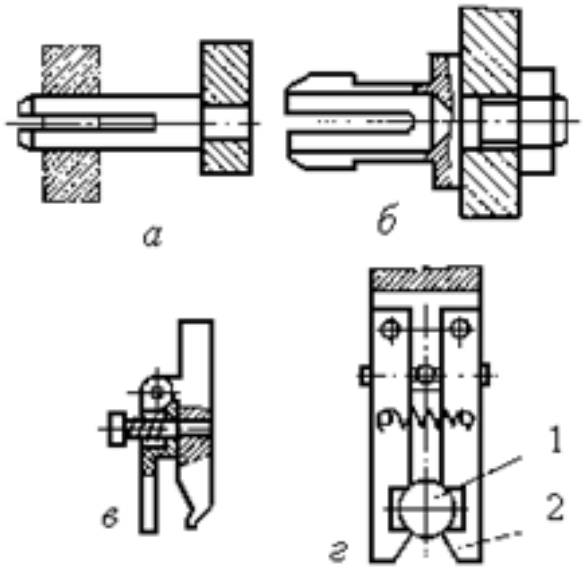


Рисунок 8.8 – Некеровані захватні пристрої: а – типу пінцета у вигляді пружного розрізного валика, б – типу пінцета у вигляді розрізної пружної втулки, в – типу кліщів з однією рухомою губкою, р – типу кліщів з двома рухомими губками; 1 – заготовка, 2 – робочі елементи

Не приводні захватні пристрої зі стопорними механізмами (рис. 8.9), що забезпечують чергування циклів затиску і звільнення деталей, є автономними і не потребують спеціальних команд від системи керування і додаткового підведення енергії.

Деталі утримуються зусиллями пружин в результаті самозатягування або замикаючого дії губок. Як правило, подібні пристрої працюють у вертикальному положенні.

На рис. 8.9, а представлена схема пристрою для захоплення деталей типу валів або фланців) по зовнішньому діаметру.

На рис. 8.9, б представлено пристрій для захоплення деталей типу фланців, зубчастих коліс і втулок), що лежать стопкою.

На рис. 8.9, в показано вузько діапазонний пристрій для захоплення деталей по внутрішньому діаметру отвору (різниця в діаметрах 1,5...2 мм).

Командні захватні пристрої в основному бувають кліщового типу. Рух губок забезпечується пневматичним, гідравлічним або електромеханічним приводом.

Широке застосування отримали кліщові командні захватні пристрої з важільними передавальними механізмами, що забезпечують виграш у силі затиску деталі.

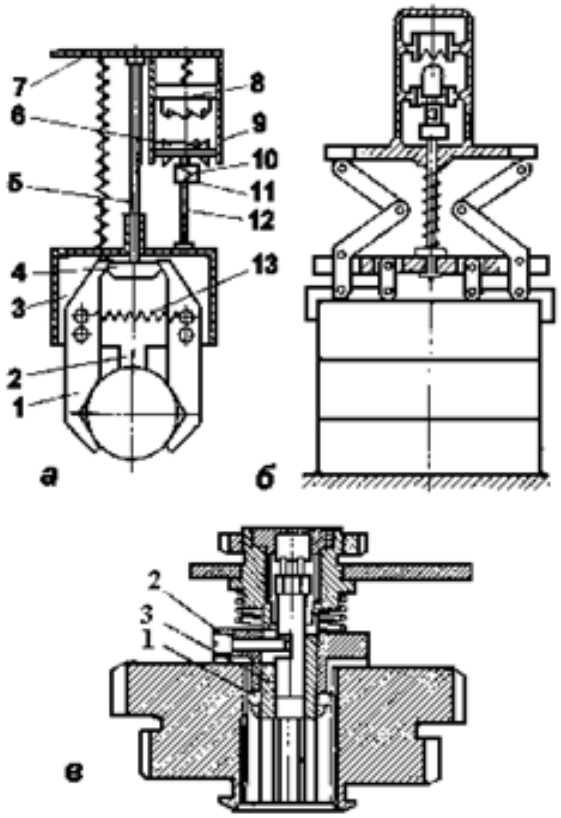


Рисунок 8.9 – Не приводні захватні пристрої зі стопорними механізмами; а – для захоплення деталей по зовнішньому діаметру, б – для захоплення деталей, що лежать стопкою, в – для захоплення деталей по внутрішньому діаметру

Кліщові захватні пристрої з гідравлічним приводом і системою важільних передавальних механізмів показано на рис. 8.10.

У конструкціях, наведених на рис. 8.10, а, б, гідроциліндр розташований між шарнірно закріпленими елементами, пов'язаними з важільним механізмом.

Затискні губки виконані змінними і кріпляться до цих планок.

Шляхом зміни губок забезпечують захоплення деталі за внутрішню або за зовнішню поверхню.

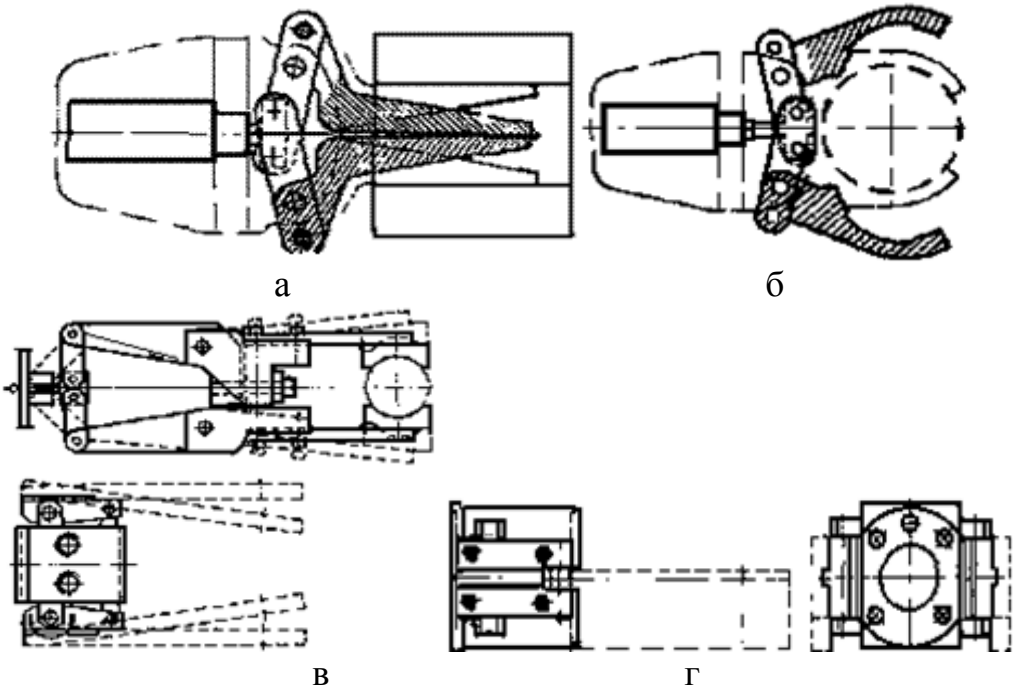
У захватному пристрої, показаному на рис. 8.10, б, одна з губок встановлена на хитної планці, кутове положення якої щодо важеля може регулюватися гвинтом, що дозволяє виробляти зміну взаємного розташування губок.

На рис. 8.10, м наведена конструкція захватного пристрою, де для утримання деталі використовується зусилля пружної деформації пальців.

Пневматичний пристрій (рис. 8.11, а) зі змінними робочими губками, який дозволяє використовувати його для роботи з об'єктами різної форми. Аналогічний захоплюючий пристрій для фланців і кілець показано на рис. 8.11, б.

На рис. 8.11, показано центруючий спрямований на широкодіапазоний захоплюючий пристрій з паралельним переміщенням губок. Довжина важелів 2 удвічі більше довжини важелів 1, і шарнірні трикутники, утворені цими важелями, є рівнобедреними, чим і забезпечується прямолінійність

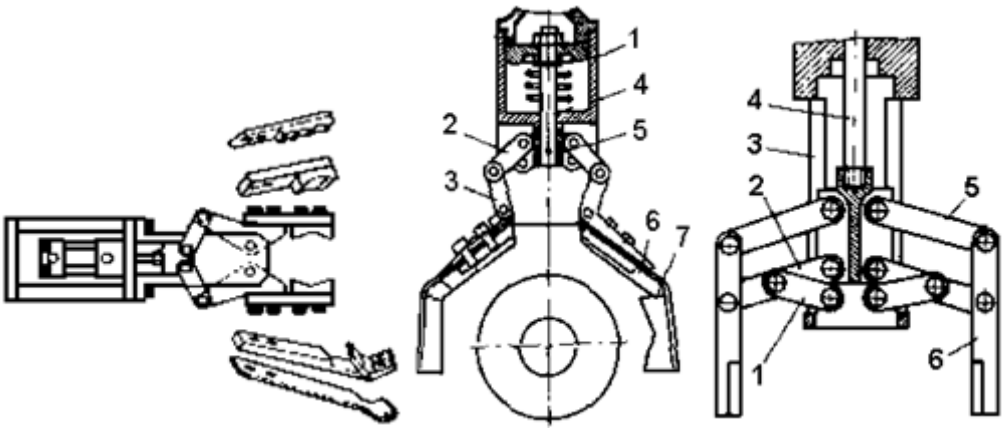
переміщення губок 6, які складають разом з тягою 4 і важелями 2 і 5 шарнірні паралелограми.



а б в г

Рисунок 8.10 – Кліщові захватні пристрої з важільними передавальними механізмами

В механічних конструкціях захватних пристроїв широке застосування знайшли рейкові передачі. Порівняно з важільними, вони мають менший габарит, забезпечують більшу розкриття губок, проте не дають виграшу в силі затиску деталі.



а б в

Рисунок 8.11 – Кліщеві захватні пристрої з пневмоприводом.

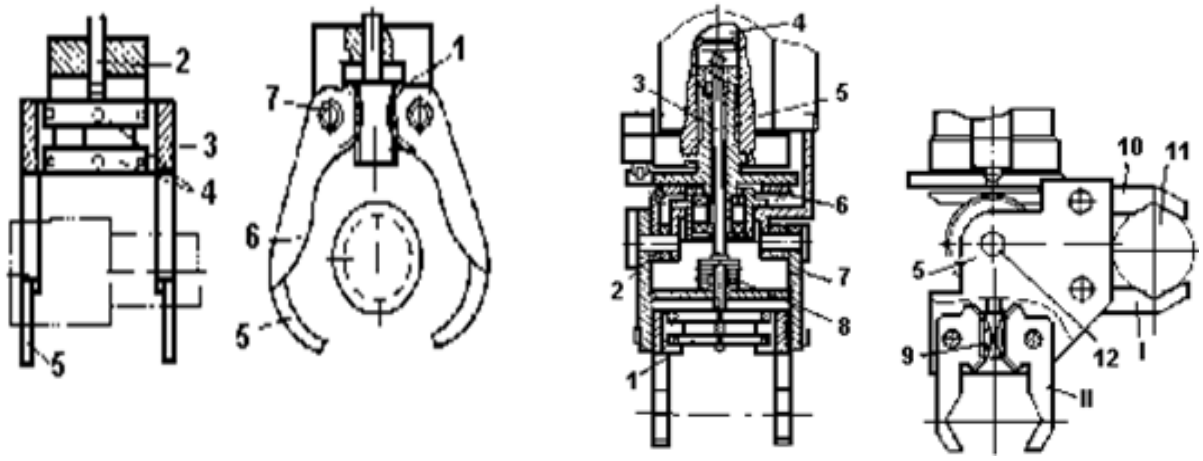
На рис. 8.12 представлені приклади конструкцій рейкових широкодіапазонних захватних пристроїв для деталей типу тіл обертання.

Пристрій (рис. 8.12, а) – однопозиційний, призначене для захоплення гладких і східчастих валів. Профіль губок забезпечує центрування валів в широкому діапазоні розмірів.

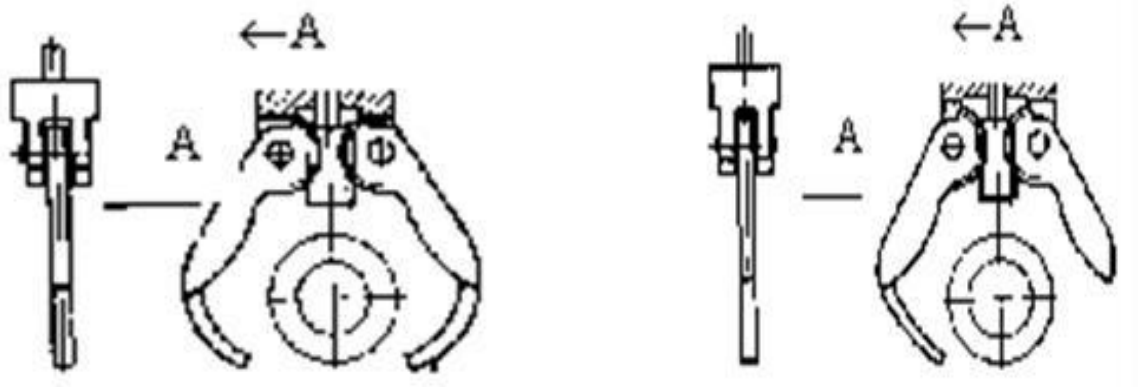
На рис. 8.12, б показано двопозиційний центруючий широкодіапазоний пристрій для захоплення валів, який забезпечує відносно короткий цикл установки – зняття заготовок і оброблених деталей.

На рис. 8.12, в, г наведені двухпальцеві центруючі широкодіапазонні захватні пристрої для деталей типу кілець і фланців, принцип дії яких аналогічний описаному вище.

Пристрій на рис. 8.12, г відрізняється тим, що одна з його губок виконана укороченою, чим забезпечується компактність конструкції і досягаються менші зазори між деталями, що лежать в орієнтує тарі.



а б



в г

Рисунок 8.12 – Захватні пристрої для тіл обертання (з рейковим приводом)

Основою вакуумних захватних пристроїв є присоски і пристрої для створення вакууму. Простим і поширеним способом створення вакууму є вживання ежекторів. В цьому випадку розрідження виходить без спеціальної установки за рахунок енергії стислого повітря, що поступає із заводської мережі. Одна з конструкцій ежектора представлена на рис. 8.13, а.

Основою ежектора є трійник, в який вклеєні або упаяні пробки з отворами малого діаметру.

На рис. 8.13, б показана конструкція присоски з кульовою опорою, яку можна закріплювати до патрубка в будь-якому потрібному положенні. Зазвичай для захоплення деталі використовують декілька присосок. Присоски виготовляють з гуми або пластмаси.

Підіймальні електромагніти (рис. 8.13, в) складаються з корпусу 3, виконаного з низковуглецевої сталі, усередині якого розміщені котушки магніта 2, захищені від пошкоджень аркушем 1 з марганцевистої сталі або латуні. Електромагнітні захватні пристрої компонуються з невеликих електромагнітів, що встановлюються на загальній рамі. Такі пристрої зазвичай застосовують для перенесення фасонних, круглих, ребристих і гратчастих поверхонь, захопити які вакуумними пристроями важко або неможливо.

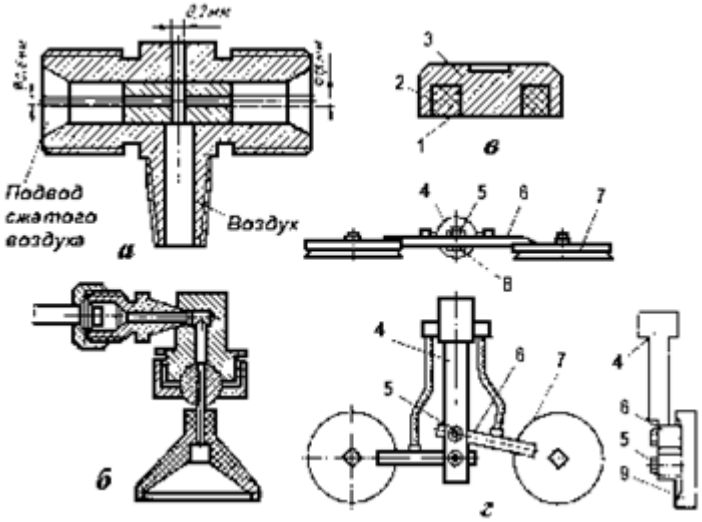


Рисунок 8.13 – Елементи вакуумних і електромагнітних захватних пристроїв: а – схема ежектора, б – пневмоприсоска з кульовою опорою, в – схема електромагніту, г – кріплення вакуумних присосків або магнітів

Пристрій для кріплення присосок або магнітів показано на рис. 8.13, г.

Кріплення захватних пристроїв на руці ПР може бути:

- постійне,
- змінне,
- швидкозмінне.

Як конструктивного виконання місць кріплення змінних захватних пристроїв використовується фланцеве кріплення, причому на руці ПР виконується фланець з центруючим отвором по осі і з різьбовими отворами довкола нього. При такій конструкції частина елементів захватного пристрою розміщується усередині руки ПР, здійснюється зв'язок пристроїв, що не мають вбудованого приводу, з приводом, що знаходиться в руці. Така конструкція є простою і універсальною Для швидкої ручної зміни захватних пристроїв, а також для їх автоматичної зміни застосовують байонетне кріплення (рис. 8.14),

що включає гніздо 1 (виконане на руці ПР), хвостовик 2 захватні пристрої і пристосування 3 для його кутової фіксації.

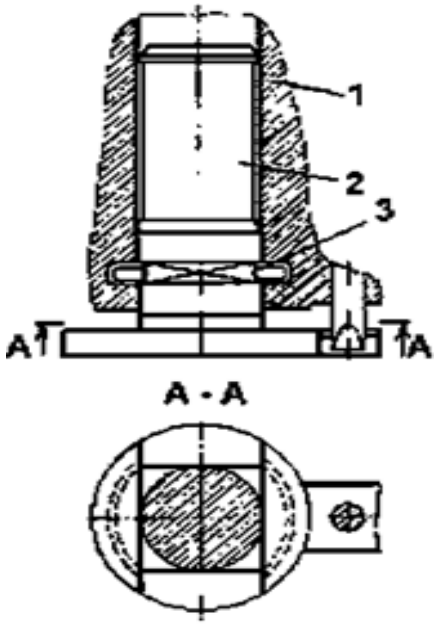


Рисунок 8.14 – Байонетне кріплення захватних пристроїв: 1 – гніздо, 2 – хвостовик, 3 – пристосування для вузлової фіксації захватного пристрою

Механізм автоматичної зміни захватних пристроїв (рис. 8.15) виконується на основі нормалізованого швидкозмінного кріплення.

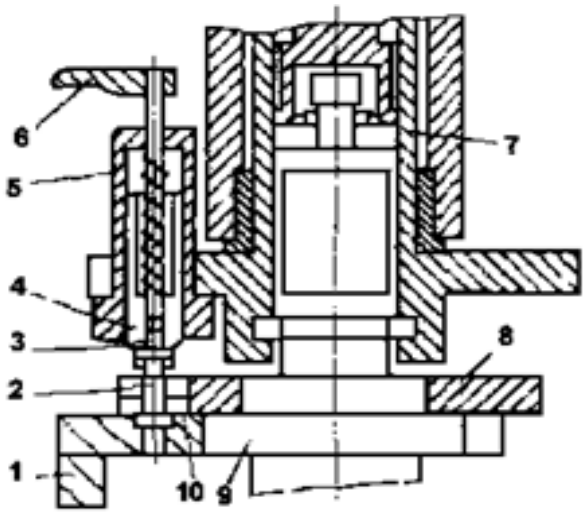


Рисунок 8.15 – Механізм автоматичної зміни захватних пристроїв

8.4 Приводи ПР

Промислові роботи оснащуються приводами:

- електричними,
- пневматичними,
- гідравлічними .

У ПР, що оснащуються позиційними, контурними, а також комбінованими УЧПУ, використовують електроприводи, які забезпечують відповідне керування по окремих осях координат з позиціюванням в будь-якій точці робочої зони і включають крокові електродвигуни або двигуни постійного струму. Часто застосовуються комплектні крокові електроприводи з гідропідсилювачем, рідше – стежачі гідроприводи.

Приводи ПР діляться на наступні групи:

1. нерегульовані, забезпечуючі рух ланок механізму з однією робочою швидкістю;
2. регульовані, забезпечуючі повідомлення змінної або незмінної швидкості ланці механізму, причому параметри приводу можуть мінятися під впливом пристроїв, що управляють;
3. що стежать, автоматично забезпечують відробіток переміщення з певною точністю відповідно до довільно змінного задаючого сигналу;
4. адаптивні, автоматично обираючі параметри керування при зміні умов роботи в цілях виробки оптимального режиму.

До приводів ПР пред'являються наступні вимоги.

- забезпечення постійної частоти обертання двигуна при зміні зовнішнього навантаження;
- підтримка постійного моменту на валу двигуна у всьому діапазоні частот обертання;
- забезпечення процесу регулювання двигуна, без коливань;
- забезпечення високої точності відробітку двигуном дій, що управляють.

Важливим, з точки зору забезпечення безпеки при експлуатації ПР, є включення до складу комплектного приводу електромагнітного гальма для фіксації положення валу двигуна при випадкових перервах в живленні.

8.5 Використання ПР для обслуговування верстатів

При використанні ПР для обслуговування металорізальних верстатів вирішуються наступні завдання:

1. захват заготовок з накопичувачів;
2. завантаження заготовок у верстат;
3. міжверстатне транспортування напівфабрикатів;
4. зняття деталей з верстата;
5. завантаження накопичувачів готовими деталями.

Додаткові завдання, які можуть бути покладені на ПР, пов'язані з подальшим підвищенням продуктивності обслуговуваного устаткування шляхом оснащення ПР системами активного контролю розмірів оброблюваних деталей і організації відповідної автоматичної корекції керуючих програм металорізальних верстатів.

Верстат (група верстатів), обслуговуваний ПР, складає так званий роботизований технологічний комплекс (РТК).

До складу типових РТК включаються:

1. Промислові роботи.
2. Металоріжучі верстати.
3. Допоміжне транспортне устаткування, що включає накопичувачі, магазини заготовок і виробів і тому подібне.

В залежності від числа верстатів, які обслуговуються одним ПР, разрізняють:

1. одноверстатні РТК;
2. багатоверстатні РТК.

РТК з роботом підлогового типа моделі М20П.40.01 (рис. 8.16) включає:

- токарний верстат з ЧПУ 1 мод. 16К20ФЗ, 16К20РФЗ або 16К20Т1,
- УЧПУ 2 верстатом,
- УЧПУ роботом 3,
- пульт навчання робота 4,
- захват 5,
- поворотний блок 6,
- шток 7 горизонтального переміщення захвату,
- поворотний пристрій 8 в горизонтальній площині,
- каретка 9 вертикального переміщення захвату,
- тактовий стіл 10,
- затискний патрон 11,
- рухома загорожа робочої зони 12,
- револьверна головка 13 з ріжучим інструментом,
- задня бабка 14.

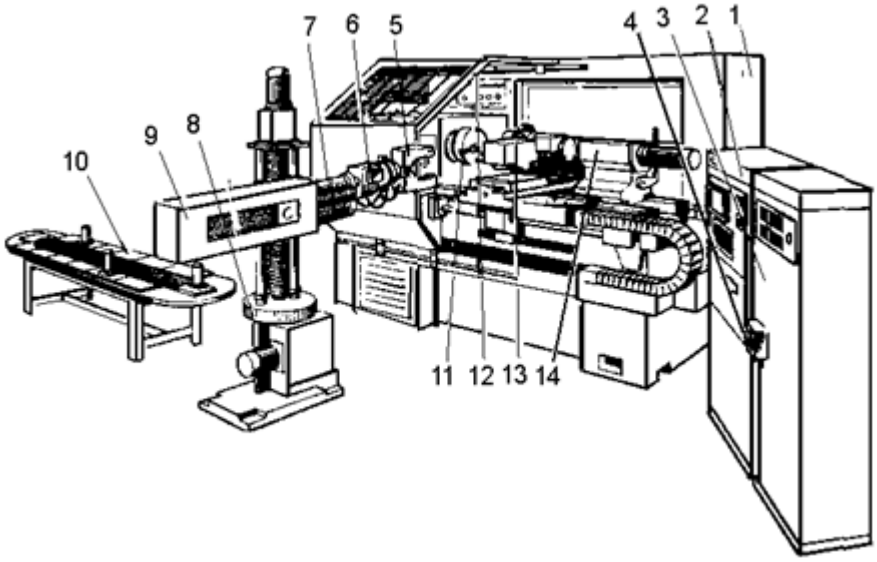


Рисунок 8.16 – РТК 16К20ФЗР з роботом підлогового виконання М20П.40.01

Промисловий робот має п'ять програмованих переміщень:

1. вертикальне (z) (вгору і вниз) каретки 9 в межах 500 мм;
2. поворот в горизонтальній плоскості (θ) до 300°;

3. горизонтальне переміщення штока (R) 7;

4. кутове положення поворотного блоку 6 (α) до 1800;

5. крім того, схват має можливість регулювання кутового положення (β) відносно поворотного блоку в горизонтальній плоскості.

Слід зазначити, що установка і знімання оброблюваної деталі в даному РТК здійснюється шляхом повороту робота пристроєм 8, оскільки відстань між віссю повороту ПР і патроном чимала. Підпружинений схват компенсує погрішності поворотного руху замість поступальної ходи завантажуваної деталі в патрон. Оскільки, основні рухи ПР програмуються, то наладчик може знайти залежно від конкретної ситуації найбільш доцільне рішення. Використання тактового столу (ТС) не обов'язкове. Можна, використовуючи УЧПУ робота, запрограмувати знімання і укладання оброблюваних деталей на стаціонарному столі – режим палетірованія деталей. Це досягається завдяки можливості програмування ПР по вертикалі (пристрій 9) і по куту (пристрій 8). Використання ТС або стаціонарного столу залежить від конкретних виробничих умов. У першому випадку потрібно більше виробничої площі, в другому – програма роботи ПР.

На рис. 8.17 показаний РТК мод. РТК 16К20ФЗР з навісним (пристроюваним) ПР мод. М10П.62.01.

На відміну від попереднього випадку ПР значно наближається до верстата. Цей варіант виконання РТК доцільніший при обробці деталей менших розмірів, ніж у попередньому випадку. В зв'язку з цим вантажопідйомність ПР складає 10 кг замість 20 кг.

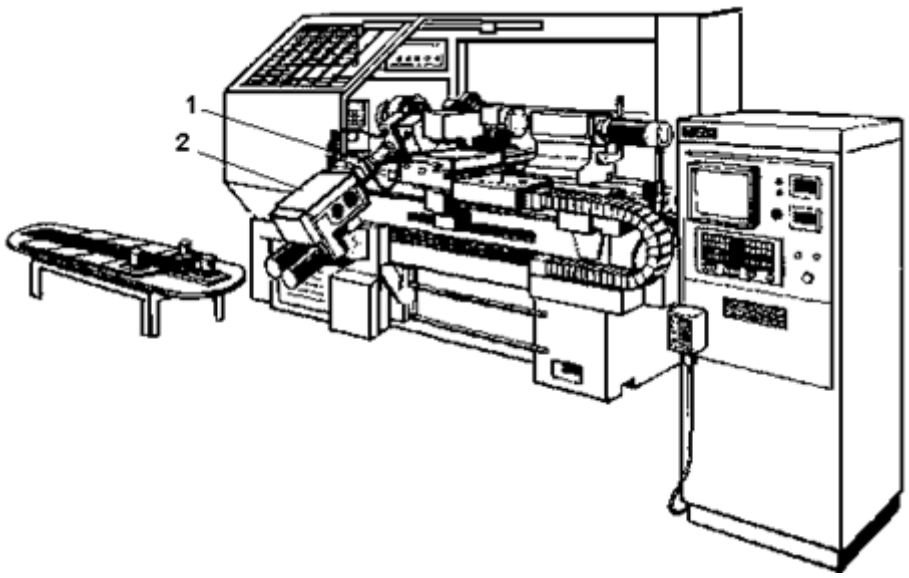


Рисунок 8.17 – РТК верстата з ЧПУ мод 16К20ФЗР з роботом М10П.62.01

У цього виконання поворотний рух при установці деталі в патрон замінений на поступальне паралельно осі шпинделя за допомогою каретки 1, а переміщення оброблюваної деталі здійснюється шляхом повороту частини 2 в плоскості – перпендикулярній осі шпинделя і вертикальною. ПР в положенні

над столом має можливість повороту, так що при необхідності можна користуватися стаціонарним столом.

Поворотні блоки відрізняються величиною кута повороту і кількістю фіксованих точок положення. Залежно від блоку, яким комплектується РТК, деталь можна обробити з двох установ без проміжного кантування деталі або з кантуванням деталі між двох установ.

Слід враховувати, що при використанні ПР М10Г1.62.01 захват переміщається уздовж осі шпинделя, на 150 мм для установки деталі в патрон. При обробці деяких деталей виявляється необхідність вживання столика для кантування деталі або для перебазування в захватах, який повинен знаходитися в зоні дії ПР.

Прикладом використання промислового робота служить обслуговування зубофрезерного верстата з ЧПУ, що забезпечує завантаження заготовок і зняття готових деталей після обробки

8.6 Використання ПР на складальних роботах

Час, що витрачається на збірку, складає 25.35 % загального часу виготовлення виробів, а витрати на складальні операції досягають 50 % вартості готового виробу. Тому автоматизація збірки є одним з важливих резервів підвищення продуктивності праці і, отже, зниження вартості виробу, в зв'язку, з чим цьому питанню приділяється велика увага, оскільки в разі вживання ручної збірки витрати на її здійснення складають 35% виробничих витрат.

При автоматичній збірці значно:

- підвищується якість продукції,
- надійність і довговічність,
- покращуються умови праці,
- вивільняється велика кількість робітників.

Автоматизація складальних операцій в серійному виробництві пов'язана з певними труднощами. Це пояснюється в першу чергу необхідністю частих переналадок складального устаткування. Залежно від об'єму і складності виконуваних операцій збірку здійснюють як на устаткуванні, що включається до складу комплексної автоматичної лінії по обробці базової деталі, так і на спеціалізованих ділянках і лініях збірки. Такі ділянки і лінії розташовують по ходу технологічного процесу виготовлення вузла (виробу).

Складальні машини і лінії виконують різні операції:

- орієнтування деталей,
- загвинчування,
- підігрівши,
- охолоджування,
- запресовку,
- транспортування виробів,
- контроль якості збірки і тому подібне.

При комплексній автоматизації доцільніше виконувати різні операції не на окремих верстатах, а на одному агрегаті або лінії. При виконанні складальних операцій в серійному виробництві найбільш ефективне вживання складального устаткування на базі ПР, використовуваних для автоматизації операцій на всіх видах складальних робіт.

На збірці під подальшу механічну обробку ПР виконують наступні операції:

- подача,
- орієнтація і з'єднання деталей в один комплект,
- взаємне закріплення деталей,
- установка і зняття комплекту при обслуговуванні верстатів.

При вузловій збірці ПР використовують для пошуку і розпізнавання деталей: їх транспортування, орієнтації і подачі на складальну позицію: контролю розмірів: а також правильності і якості взаємного з'єднання і закріплення деталей: для транспортування, укладання і упаковки зібраного вузла. При остаточній збірці виробу ПР використовують для транспортування, взаємної орієнтації і установки вузлів, інколи для їх з'єднання, а також для транспортування готових виробів. ПР можуть застосовуватися і для розробки виробів.

Висновок

Підводячи підсумок, слід зазначити, що нами було розглянуто призначення і класифікацію промислових роботів, а також їх склад і загальні принципи пристрою. З'ясували їх можливості в умовах автоматизованого виробництва, що допоможе Вам надалі правильно вибирати технологічне устаткування і засоби забезпечення високопродуктивного виробництва.

Література

основна:

Робототехніка: Підручник /В.І. Костюк, Г.О. Спыну, Л.С. Ямпольський, М.М. Ткач. – К.: Вища школа, 1994. – 447 с.

Агрегатно-модульне технологічне обладнання: Навчальний посібник: У 3-х частинах / Під ред. Ю. М. Кузнєцова. – Кіровоград. – 2003.

додаткова:

Металлорежущие станки и автоматы / Под ред. А. С. Проникова, — М.: Машиностроение, 1981. – 479 с.

Кузнецов Ю. М. и др. Проектирование автоматизированного оборудования. – М.: Машиностроение, 1991. – 267 с.

Контрольні запитання

1. Як поділяються ПР за конструктивними ознаками?

2. Що включає в себе поняття промисловий робот і які завдання вирішують вони у виробництві?

3. Які системи автоматичного завдання і стабілізації курсу переміщення використовують в конструкціях типу «Робокар»?

4. Для чого призначені захватні пристрої ПР і які вимоги пред'являються до них?

5. Які типи захватних пристроїв застосовуються в ПР?

6. Які види кріплення захватних пристроїв на руці застосовуються в ПР?

7. На чому заснований принцип автоматичної зміни захватних пристроїв в ПР?

9. БАГАТООПЕРАЦІЙНІ ВЕРСТАТИ

На даному занятті мі розглянемо призначення, технологічні можливості багатоопераційних верстатів, а також їх компоновку та переваги в порівнянні з іншими.

Основне їх призначення – обробка деталей складних з одного установа.

9.1 Багатоопераційні верстати їх призначення та технологічні можливості

Металоріжучі верстати, призначені для виконання великого числа різноманітних технологічних операцій без переустановлення оброблюваних деталей, маючи пристрій автоматичної зміни інструмента та оснащення системи ЧПК, називаються багатоцільовими (БЦ). Корпусні та плоскі деталі можна обробляти з одного установа з декількох сторін (до п’яти).

Типовими технологічними операціями являються:

- Розточування,
- Свердління,
- Зенкерування,
- Розверстування,
- Цекування,
- Нарізання різі мітчиками,
- Фрезерування площин, контурів та фасонних поверхонь.

При високій концентрації виконуваних технологічних операцій для БЦ характерна висока точність обробки (6-й, 7-й квалітет).

Багатоопераційні верстати призначаються для обробки деталей складних форм з одного установа.

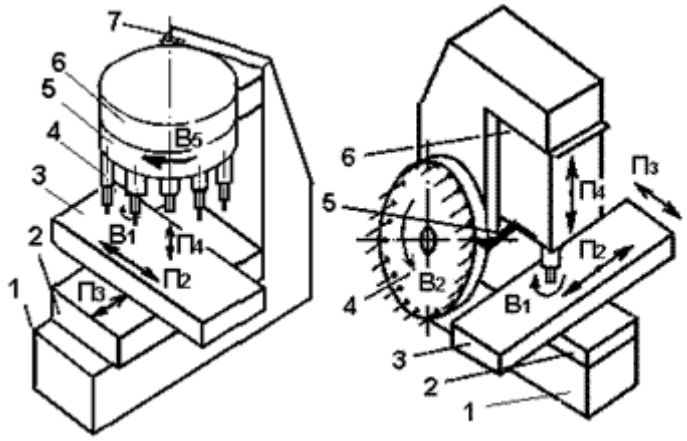
Відмінною особливістю таких верстатів являється наявність магазина інструментів. В деяких моделях багатоопераційних верстатів ємність таких магазинів перевищує 130 інструментів, випускаються такі верстати з змінними магазинами.

Багатоцільові верстати оснащуються необхідним ріжучим інструментом, який знаходиться спеціальному інструментальному магазині. У відповідності з заданою управляючою програмою використовується будь-який інструмент з магазина, необхідний для обробки відповідних поверхонь. Все більш широке використання знаходять також пристрої автоматичної зміни заготовок, попередньо закріплених на столах-супутниках.

Розрізняють дві компонувальні групи таких верстатів, які визначаються положення осі шпинделя в його робочому стані:

1) Вертикальні,
2) Горизонтальні.

Приклади вертикальних компонованих багатоопераційних верстатів показані на рис.9.1



а) б)

Рисунок. 9.1 – Схеми компоновок багатоопераційних верстатів.

Столи таких верстатів виконуються хрестовими, які забезпечують два взаємно перпендикулярних рухи $П_2$ та $П_3$ в горизонтальній площині. Цей рух програмується по неперервній системі.

Інструменти знаходяться або кожний в своєму шпинделі, або в інструментальному магазині.

На рис. 9.1, а зображений верстат з магазином шпинделів 5, оснащених різноманітними інструментами (свердлами, зенкерами, фрезами, різних діаметрів та форми і т.д.).

В робочу позицію необхідний шпиндель подається обертанням магазина B_5.

В цій позиції він отримує рух B_1 та B_2 від привода верстата.

Рух вертикальної подачі $П_4$, а також поворот магазина шпинделя програмується. Ємність магазина досягає 20 шпинделів, оснащених відповідними інструментами. Час зміни шпинделя незначний, він не перевищує 2...5 секунд.

Близька відстань між шпинделями в магазині обмежує найбільший діаметр встановлюваних інструментів в межах до 120 мм.

Верстати такого типу використовуються для обробки нескладних корпусних деталей.

Технологічні можливості таких верстатів розширюються шляхом застосування обертових навколо горизонтальної осі столів, які встановлюються на робочий стіл 3. Рух таких обертових столів також програмується та дозволяє обробку деталей з чотирьох сторін з одного установа.

Інший приклад вертикальної компоновки багатоопераційного верстата показаний на рис. 9.1, б. Насправді револьверну головку можна оснастити не тільки свердлами і зенкерами, а і фрезами, а хрестовому столу задати рух не тільки по координатам (позиційна система ЧПК), але і по контуру.

Правда, ємність магазина таких верстатів невелика, тому магазин для них роблять іноді не поворотним, а ланцюговим (рис. 9.2).

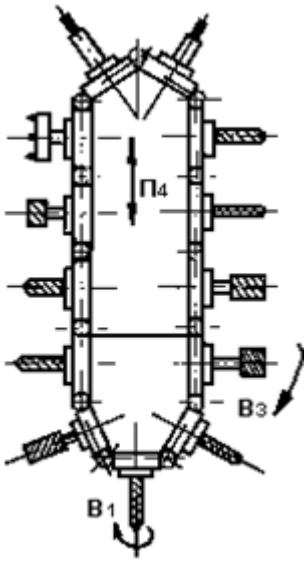


Рисунок 9.2 – Схема ланцюгового інструментального магазина.

На рис. 9.1, б представлена схема вертикального багатопозиційного верстата з круглим магазином інструментів 4 та одним шпинделем з вертикальною віссю, розташованим в шпиндельній головці 6.

Зміна інструмента відбувається по заданій програмі маніпулятором 5, який розміщений в зоні між магазином та шпинделем і забезпечує видалення інструмента з кінця шпинделя і переносить його в гніздо магазина, а після повороту магазина – запрограмовану позицію захват інструмента з гнізда магазина, перенос до шпинделя та установку.

В цьому верстаті програмуються рухи $П_2$, $П_3$, $П_4$, $П_5$ і послідовність роботи маніпулятора.

Ємність магазина такого верстата може перевищувати 30 інструментів при розташуванні їх по одній окружності.

Верстати застосовуються для обробки корпусних деталей середньої складності:

- Корпусів коробок швидкостей верстатів та автомобілів,
- Корпусів редукторів,
- Головок блока циліндрів і т.д.

Точність обробки на верстатах вертикальної компоновки досягається наступна:

- По встановленню координат 0,01...0,015 мм,
- По діаметру розточуваних отворів – 0,01 мм,
- По некруглості – 0,003 мм,
- По нециліндричності – 0,006 мм,
- По неплоскості обробленої поверхні – 0,008 мм,
- По непаралельності її основи – 0,008 мм.

Багатоцільові верстати для обробки корпусних і плоских деталей по компоновці виконують горизонтальними, вертикальними та поздовжньо-обробними.

При горизонтальній компоновці (рис. 9.3) вісь обертання шпинделя Ш розташована горизонтально, і такі верстати частіше всього використовують для обробки складних корпусних деталей.

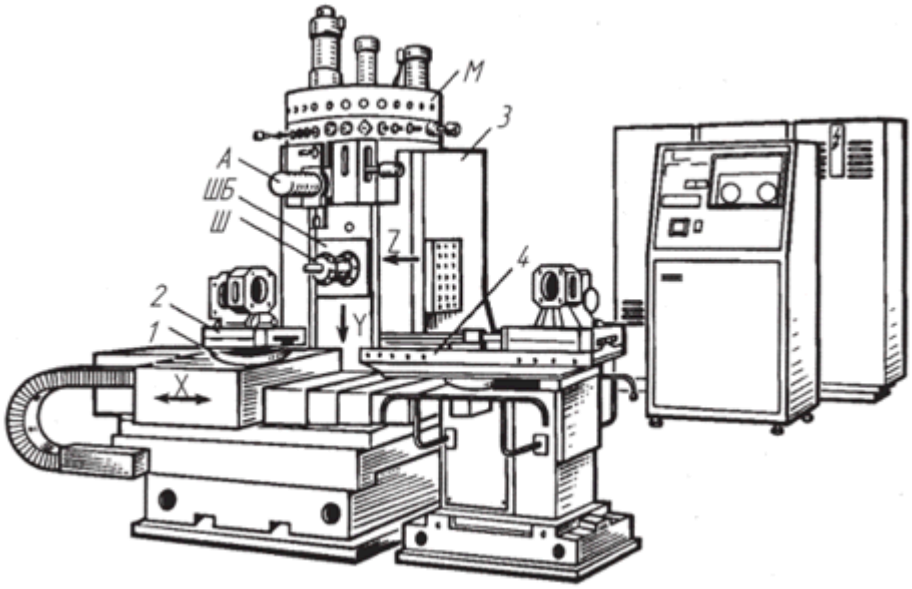


Рисунок. 9.3 – Загальний вигляд БЦ з горизонтальною віссю обертання шпинделя

На БЦ вертикальної компоновки (рис. 9.4) вісь обертання шпинделя Ш розташована вертикально. Верстати зручні при обробці багатьох плоских деталей складної форми (штампів, прес-форм, важелів, кришок, фланців і т. д.). Шпиндельна бабка ШБ переміщується (координата Z) по вертикальним направляючим стійкам. Шпиндель зазвичай висувний.

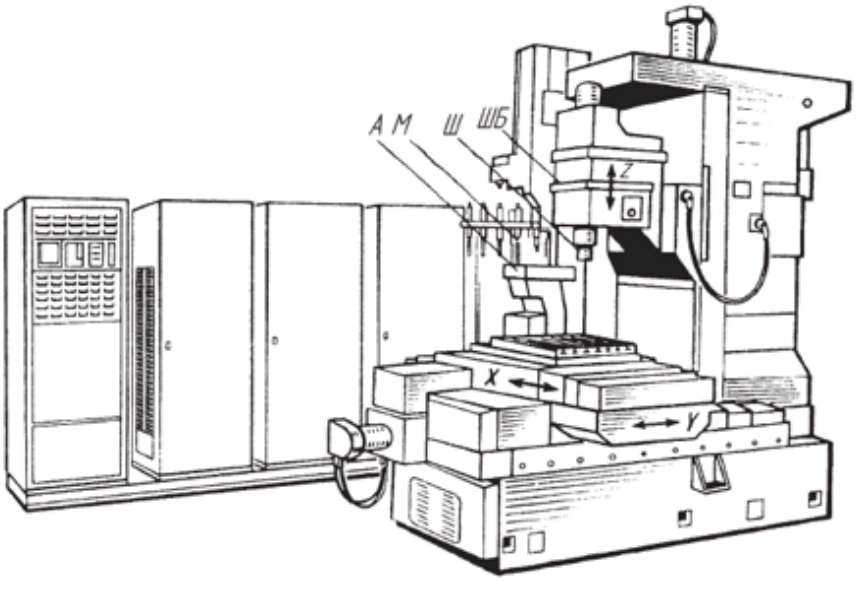


Рисунок. 9.4 – Загальний вигляд вертикального БЦ

9.2 Компоновка багатоопераційних верстатів

З великого різноманіття горизонтальних компоновок багатоопераційних верстатів дві найбільш характерні показані на рис. 9.5.

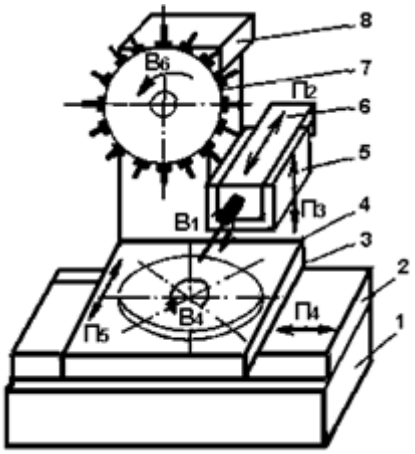


Рисунок. 9.5 – Схема компоновки багатоопераційного верстата з горизонтальним шпинделем

Такі верстати для розширення технологічних можливостей оснащуються, крім хрестового столу, який забезпечує два взаємно перпендикулярних переміщення $П_5$ та $П_6$, круглим столом 4, який дозволяє поворот заготовки навколо вертикальної вісі $В_4$. Цей рух частіше за все використовується в системі позиційного керування, тобто для поворота заготовки в нову позицію для обробки робочих поверхонь, розміщених, наприклад, на сусідній стінці корпусної деталі.

Верстат, показаний на рис. 9.5, має дисковий магазин і інструментів з розміщенням їх радіально на периферії. Один шпиндель має можливість обертатись навколо своєї осі $П_1$ з різними швидкостями, які перемикаються або вручну, або автоматично по заданій програмі, вертикально переміщення $П_3$ з шпиндельною головкою 5 по направляючим нерухомою стійкою 8 і горизонтально вздовж осі переміщення $П_2$ з повзуном 6. Рух $П_2$ та $П_3$ програмується.

Передача інструмента від магазина до шпинделя і навпаки здійснюється маніпулятором, розташованим між магазином та шпинделем. Доцільна ємність такого магазина – до 30 інструментів.

В деяких моделях багатоопераційних верстатів такої компоновки застосовується дисковий магазин з розташуванням осей інструментів паралельно осі обертання магазина, а, отже, паралельно осі шпинделя. Це в якійсь в якійсь мірі спрощує рух маніпуляторів.

В усіх розглянутих схемах верстатів зміна інструменту відбувається при зупинці процесу обробки.

На деяких верстатах є револьверна головка і магазин шпинделів невеликої ємності і інструментальний магазин, в даному випадку ланцюговий з

набагато більшою ємністю. Зміна інструмента в шпинделі відбувається підчас роботи шпинделя.

Крім рухів, характерних для попередньої компоновки, тут додається програмований обертовий рух револьверної головки.

Верстати такої компонувальної схеми, в цілях компактності, оснащуються револьверними головками з похилою віссю обертання (рис. 9.6). Інструментом в позиції 1 виконується обробка, а в позиції 3 здійснюється зміна інструмента. Магазин 1 розташовується в безпосередній близькості від револьверної головки 2.

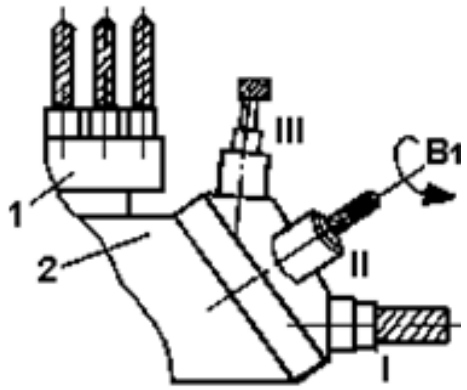


Рисунок 9.6 – Схема компоновки верстата револьверною головкою

Верстати горизонтальних компонувальних схем застосовуються для обробки складних корпусних деталей з складними фасонними поверхнями. Обробка здійснюється з одного установа (крім базових поверхонь).

Багатоопераційні верстати забезпечують:

1) Точність позиціювання по координатам – 0,003 мм,
2) Відхилення від співвісності оброблених отворів – 0,05 мм на *L=500,*
3) Неперпендикулярності бокових поверхонь до основи – 0,05 мм на *L=500.*

9.3 Можливості багатоопераційних верстатів

Багатоопераційні верстати знаходять все більше і більше розповсюдження в силу своїх незаперечних переваг:

- Верстати забезпечують стабільність оброблюваних деталей, що дозволяє скоротити об’єм контрольних операцій на 50...70% в порівнянні з іншими способами обробки.
- Можливо суттєва інтенсифікація режимів різання по принципу: один інструмент на одну операцію.
- Верстати дозволяють суттєве скорочення допоміжного часу. В результаті цього продуктивність виготовлення деталей на таких верстатах в 4...10 разів вище, ніж при обробці на універсальних верстатах.
- Найважливішим перевагою багатоопераційних верстатів перед другими автоматичними верстатами являється простота їх налагодження та

переналагодження на виготовлення деталей другої конструкції та відсутність необхідності створення складної та дорогої технологічної оснастки (шаблонів, спеціальних пристроїв і т. д.).

Висновок

Все це створює незвичайну гнучкість і мобільність виробництва, що дозволяє використовувати багатоопераційні верстати в умовах дрібносерійного виробництва.

Список використаної літератури

основна:

1. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / Т.М. Авраамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др.; под ред. В.В. Бушуева.Т.2. — М.: Машиностроение, 2011. — 608 с. С.132–145.

додаткова:

2. Металлорежущие станки / Н.С. Каменев, Л.В. Красниченко и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 500 с.

Контрольні запитання

1. Для чого призначені багатоопераційні верстати та які види обробки на них можна виконувати?
2. Як класифікуються багатоопераційні верстати по компоновці?
3. Перерахуйте основні вузли багатоопераційного верстата та вкажіть їх назву.
4. Які технологічні можливості багатоопераційних верстатів вертикальної компоновки?
5. Які схеми компоновок горизонтальних багатоопераційних верстатів знайшли найбільше використання?

10. МЕХАТРОННІ ПРИСТРОЇ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ОБЛАДНАННІ

Підвищення продуктивності верстатного обладнання є найважливішим завданням проектувальників і конструкторів і забезпечується в значній мірі за рахунок автоматизації виробництва.

Знання принципів роботи основних схемних рішень автоматизації технологічних процесів допоможуть Вам у вирішенні питань даного напрямку.

Сьогодні ми розглянемо те, яким чином у верстатах з ЧПК здійснюється реалізація складних інформаційних і технологічних процесів, а також забезпечується автоматична зміна ріжучого інструменту.

10.1 Мехатронні вузли в автоматизованому обладнанні

У верстатах з ЧПК для реалізації складних інформаційних і технологічних процесів використовується поєднання механічних та електронних пристроїв (мехатронних вузлів).

До мехатронних пристроїв відносяться пристрої, що забезпечують функції:

1. контролю установки заготовок і супутників
2. контролю точності обробки
3. діагностування вузлів та інструменту
4. компенсації деформації вузлів
5. оптимізації режимів обробки.

Мехатронні пристрої являють собою сукупність 3х частин:

1. силовий (енергетичної) системи
2. інформаційної системи
3. системи керування.

Силова система здійснює механічні переміщення, інформаційна система дозволяє отримувати інформацію про стан всіх елементів і пов'язує їх з системою управління, а система управління (електронна) управляє мехатронним пристроєм.

У верстатах з ЧПК система управління забезпечує необхідний режим роботи приводів, коригований за сигналами зворотного зв'язку з датчиків, встановлених на двигунах або на виконавчих механізмах.

Прикладом мехатронного пристроєм є схема ділильного столу зубофрезерного верстата (рис. 10.1).

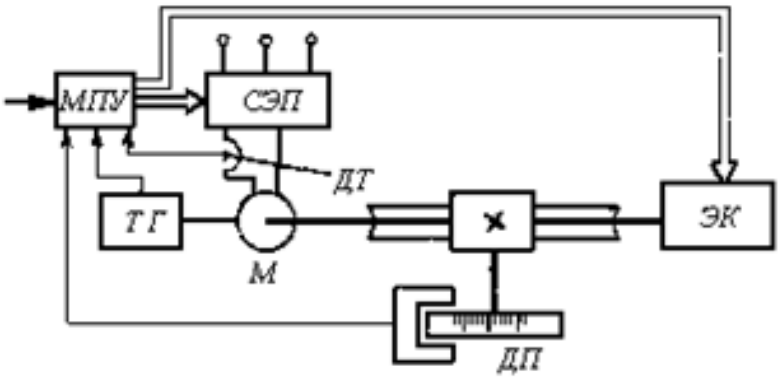


Рисунок 10.1 – Ділильний стіл зубофрезерного верстата

Схема управління двигуном М має зворотні зв'язки по струму і кутової швидкості за рахунок відповідного датчика струму ДТ і тахогенератора ТГ.

Кут повороту стола контролюється датчиком положення ДП.

Помилка головного приводу коригується осьовим зміщенням черв'яка за допомогою мікропроцесорної системою МПУ через силовий електричний перетворювач СЕП.

До мехатронної системи можна віднести пристрій, коригуючий режими різання за рахунок контролю крутного моменту, що виникає за рахунок зміни сил різання, на шпинделі токарного верстата.

На рис. 10.2 показана схема вимірювання крутного моменту на шпинделі токарного верстата.

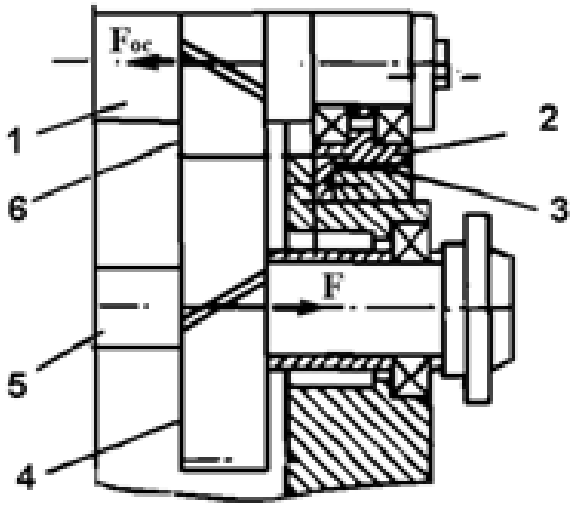


Рисунок 10.2 – Схема вимірювання крутного момента на шпинделі верстата

У цьому випадку передача моменту з вала 1 на шпиндель 5 відбувається з допомогою косозубих коліс 6 і 4, для чого вимірюється осьова сила $F_{ос}$, що діє через підшипники на вимірювальну втулку 2 з тензометричними датчиками 3.

У цьому випадку сигнали сприймаються від не обертається, легко доступною деталі.

При перевищенні допустимого моменту відбувається автоматична зміна режимів обробки.

10.2 Пристрої автоматичної зміни інструменту (АЗІ)

Пристрої автоматичної зміни інструменту (АЗІ) застосовуються в автоматизованих верстатах і верстатах з ЧПК і служить для автоматичної зміни інструменту при обробці деталі, у відповідності з технологічним процесом.

АЗІ керуються єдиною системою управління і складаються з:

1.накопичувачів інструментів (багатопозиційні різцетримачі, револьверні головки, інструментальні магазини)

2. автооператорів (маніпулятори) з захватними пристроями для зміни інструменту в шпинделі верстата

3. транспортують та затискні пристрої.

АЗІ багато в чому визначають працездатність верстатів і до них пред'являються такі вимоги:

• забезпечувати мінімальний час зміни інструменту,

• мати необхідну кількість інструментів для обробки складних деталей,

• повинні бути простими по конструкції,

• безпечними в роботі,

• володіти високою надійністю,

• забезпечувати високу точність позиціонування інструменту в шпинделі верстата.

АЗІ багатоопераційних верстатів поділяються на чотири групи:

1. з інструментом, постійно закріпленим у шпиндельних вузлах

2. з інструментом у гніздах револьверної головки

3. зі зміною інструменту в шпинделі верстата

4. об'єднані.

У пристроях АЗІ з інструментом, постійно закріпленим у шпиндельних вузлах, кожен з шпинделів в робочій позиції отримує обертання від головного приводу. Шпинделі встановлені в револьверної головці, і їх зміна здійснюється шляхом повороту револьверної головки (рис. 10.3, а). Зміна інструменту відбувається за 2...3 с.

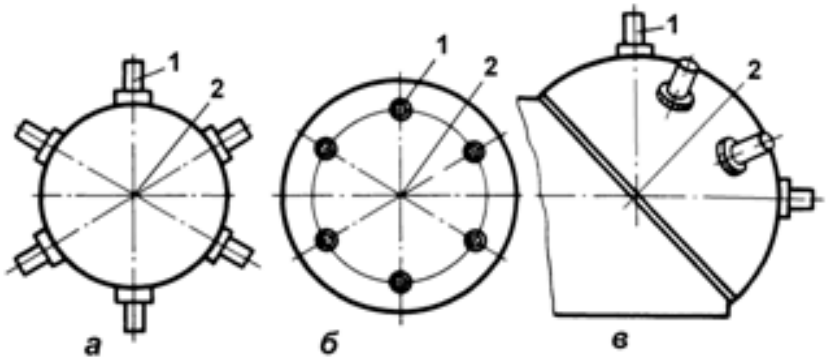


Рисунок 10.3 – Інструментальні магазини с інструментом, закріпленням в шпиндельних вузлах

Основними недоліками таких пристроїв АЗІ є:

- обмежена кількість вживаного інструменту (7...8 шт.)
- не забезпечується жорсткість конструкції
- точність обробки визначається точністю фіксації різних шпиндельних вузлів
- велика маса і габарити АЗІ
- висока вартість.

Пристрої для зміни інструменту в шпинделі верстата мають:

1. інструментальний магазин,
2. пристрій перенесення інструменту (автооператор) з магазину в шпиндель і навпаки (рис. 10.4).

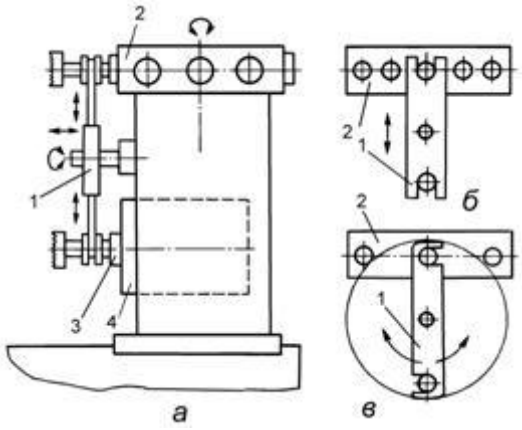


Рисунок 10.4 – Схема заміни інструмента маніпулятором

При цьому інструмент встановлюється в спеціальних оправках з конічним хвостиком, і мають конусність 7:24.

Для скорочення номенклатури оправок застосовують уніфіковані інструментальні комплекти допоміжного інструменту (рис. 10.5).

Комплект складається з різних оправок 2, встановлюваних у шпиндель верстата 1, перехідних втулок або оправок 5, патронів 4, що дозволяє закріплювати різний ріжучий інструмент 3.

Інструментальні магазини можуть бути, залежно від розташування осі шпинделя з горизонтальною (рис. 10.5) або вертикальною осями обертання (рис. 10.7).

При використанні більш 30...40 інструментів використовують ланцюгові магазини, а при невеликій кількості застосовують дискові.

Для збільшення ємності АЗІ застосовують магазини, що складаються з декількох секцій. При розташуванні магазину поза робочої зони, інструмент змінюється з допомогою автооператора, конструкція якого визначається видом магазину і його розташуванням.

Керування автооператором здійснюється пристроєм ЧПК по командам, що забезпечує певний цикл.

Наприклад: Фрезерний верстат з ЧПК мод. ЛФ260МФ3.

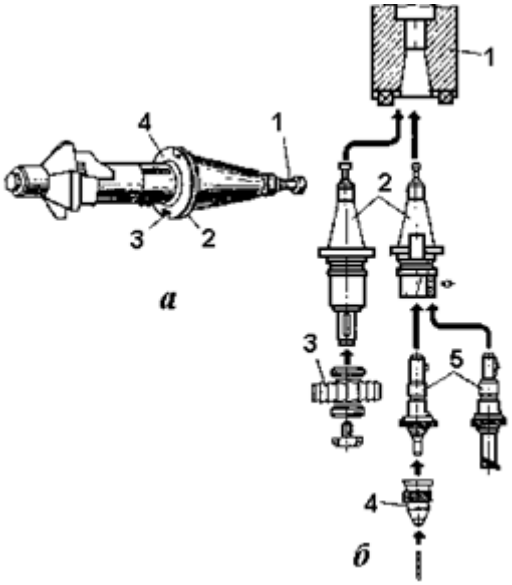


Рисунок 10.5 – Схема побудови інструментального комплекта для багатоцільових верстатів: а – інструментальна оправка з конічним хвостовиком; б – загальна схема комплекта

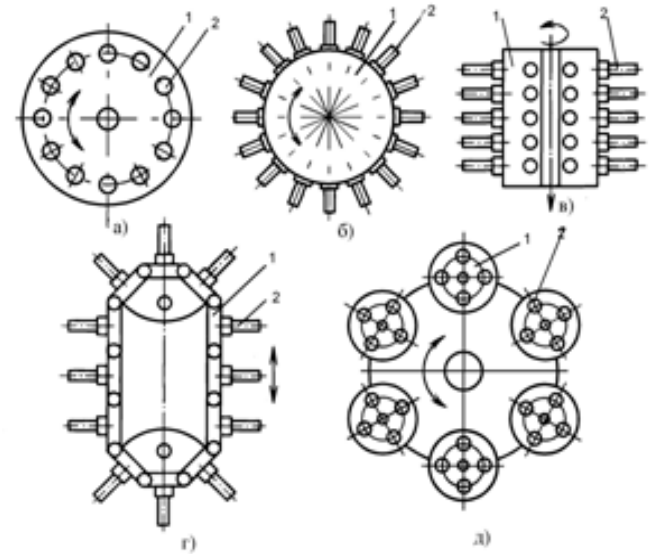


Рисунок 10.6 – Види інструментальних магазинів

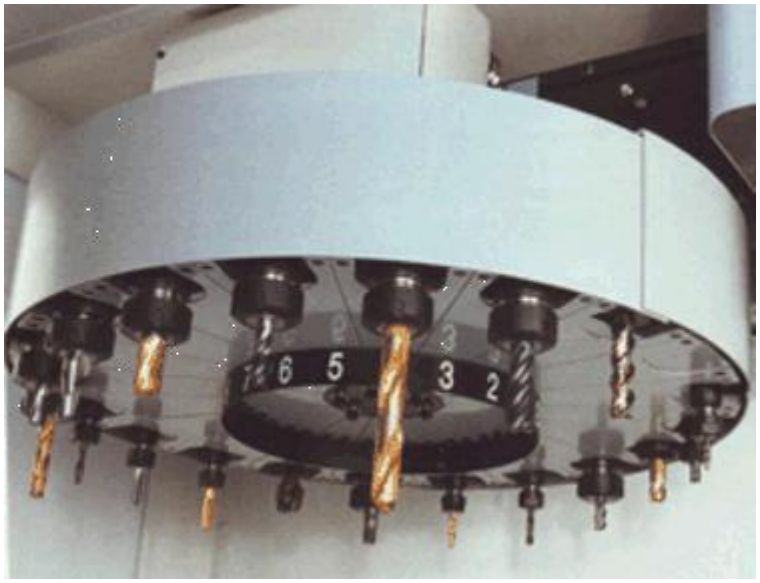


Рисунок 10.7 – Дисковий інструментальний магазин с вертикальною віссю

Цикл роботи автооператора включає наступні рухи:

1. Висунення захватів.
2. Захват оправок, одночасно, в шпинделі і у магазині.
3. Опускання автооператора з оправками вниз.
4. Закриття захватів.
5. Поворот заххватів на 180º.
6. Висунення захватів.

7. Підйом автооператора вгору і установка одного інструменту в шпиндель, іншого в магазин.

8. Закриття захватів.

9. Поворот захватів на 180º у вихідне положення.

Зміна інструменту в даних АЗІ здійснюється тільки в одному визначеному положенні шпиндельної бабки, що знижує точність обробки і збільшує час зміни інструменту.

Такого недоліку позбавлені АЗІ, мають переміщаються автооператори і відслідковують положення шпиндельної бабки.

В даний час розроблена модульна система АЗІ, що складається з уніфікованих вузлів. Такий принцип побудови АЗІ дозволяє застосовувати їх на багатьох багатоцільових верстатах.

Автоматичний пошук інструменту в магазині здійснюється 3-ма методами:

1. установкою інструментальних відправок в магазині строго в певній послідовності

2. кодуванням інструментальних блоків

3. кодуванням гнізда магазину.

В даний час знаходить застосування система з магнітним кодовою носієм, вмонтованим у відправку, і безконтактним датчиком зчитування коду.

При кодуванні оправки відпрацьований інструмент повертається в гніздо перегруженої оправки в шпиндель, що дозволяє скорочувати час зміни інструменту. Проте при цьому ускладнюється конструкція оправок і пошук потрібного інструменту.

АЗІ комбінованого типу використовують в невеликих багатоопераційних верстатах.

Кодування інструментів. Коли обробка деталі вимагає невеликого числа інструментів, і кожним з них використовується тільки один раз, інструментотримач в магазині або револьверної головці розташовуються в послідовності виконання обробки.

При кожній зміні інструменту магазин перемішається на один крок. В інших випадках застосовують кодування інструменту або кодування гнізда магазину.

Кодування інструменту на оправці (рис. 10.8) здійснюють встановленням певної комбінації змінних кодових кілець 2 і 3 або вже наявних на змінному хвостовику інструментальної оправки (на представленому рисунку в таб. 10.1 хвостовика є кільця закодовані під цифрами 1 і 4, які дадуть кодову комбінацію номери оправки 05); під час руху магазину кодові кільця натискають на шляхові перемикачі 4; при виникненні заданої комбінації сигналів магазин зупиниться в необхідному положенні (1 – конус Морзе для кріплення оправки).

Примітка. Для розпізнання оператором необхідного інструменту його номер вибитий на хвостовику інструментальної оправки, наприклад 05 або 08 і т. д.

Хвостовики змінні і можуть вкручуватися в будь-інструментальні оправки, дозволяючи тим самим присвоювати відповідний номер будь-якого інструменту, записаному в керуючій програмі.

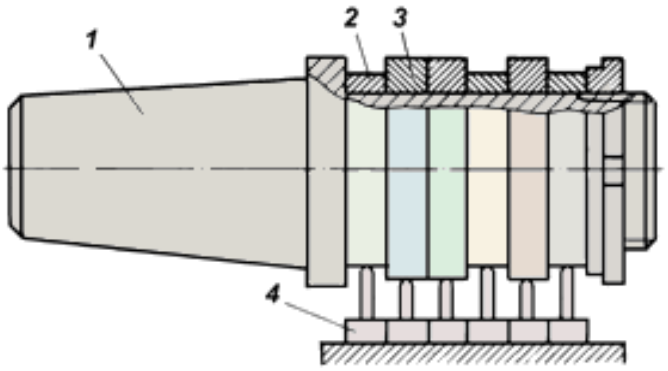


Рисунок 10.8 – Кодування інструментальної оправки

Таблиця 10.1 – Приклад інструментальної оправки з кодом **05** и кодова комбінація кілець (номерів інструментів) оправок

Код 05 05=1+4	Код інструменту	Кодування комбінації кілець оправки			
		$1=2^0$	$2=2^1$	$4=2^2$	$8=2^3$
	01	1	-	-	-
	02	-	2	-	-
	03	1	2	-	-
	04	-	-	4	-
	05	1	-	4	-
	06	-	2	4	-
	07	1	2	4	-
	08	-	-	-	8
	09	1	-	-	8
	10	-	2	-	8
	11	1	2	-	8
	12	-	-	4	8
	13	1	-	4	8
	14	-	2	4	8
	15	1	2	4	8

Прикладом такого кодування оправок є фрезерно-свердлильний напівавтомат з ЧПК мод. ЛФ-260МФ3 з інструментальним магазином на 15-ть інструментів.

Пошук потрібного інструменту в магазині здійснюється впливом кілець на мікровимикач при обертанні інструментального магазину. При наявності потрібної комбінації кілець на хвостовику оправки пристрій ЧПК забезпечує зупинку магазину в момент її підходу в позицію перевантаження (зміни). У

токарних верстатах з ЧПК в якості пристрою АЗІ застосовують револьверні головки (РГ), що дозволяють установку 5...10 інструментів (рис. 10.9, а, б,в).

Інструмент РГ встановлюється у спеціальних державках (рис. 10.10) і зміна інструменту здійснюється поворотом дискового магазину РГ, за командою пристрою ЧПК.

Іноді широкоуніверсальні верстати оснащуються 2-ма револьверними головками

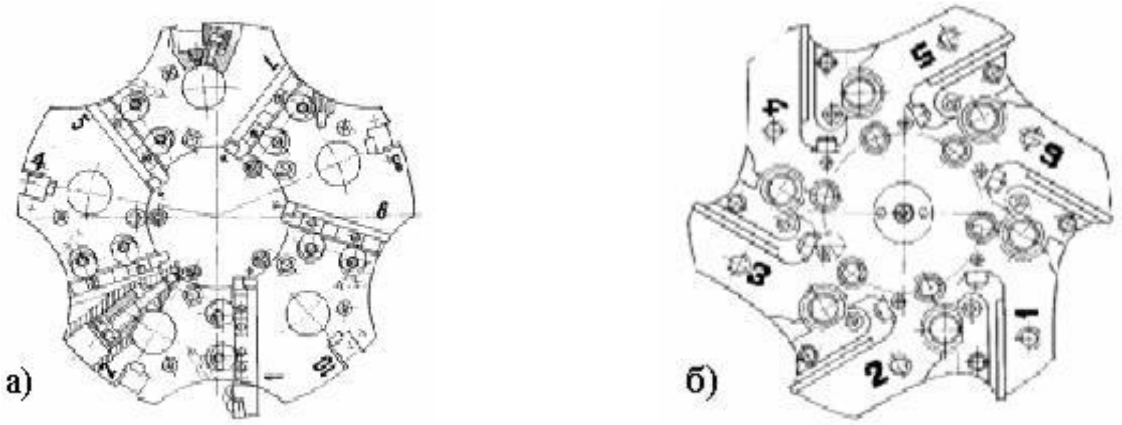


Рисунок 10.9 – Револьверні головки: а – п’ятипозиційна, б – шестипозиційна

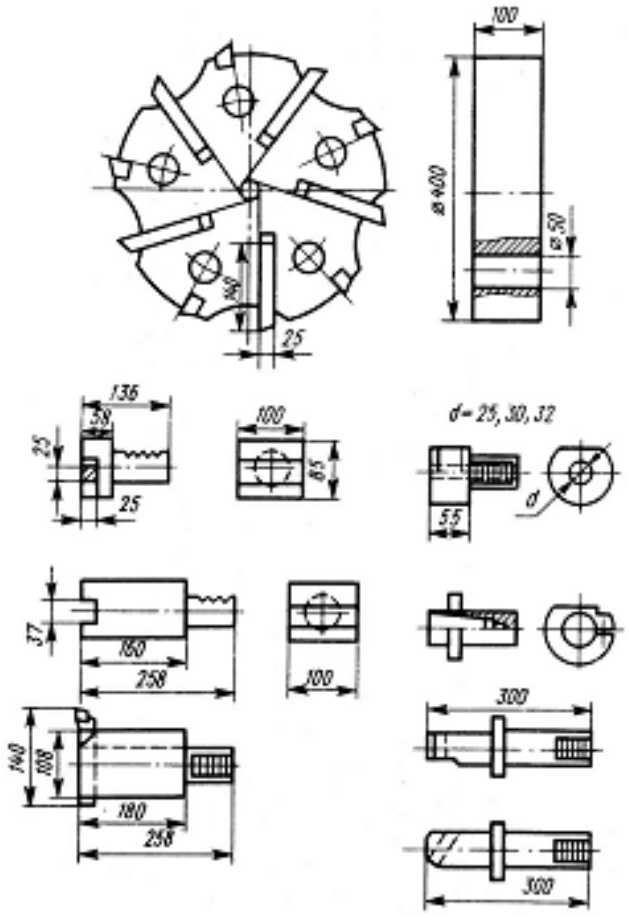


Рисунок 10.10 – Типові різцеві блоки кріплення циліндричним хвостовиком з рейковим зачепленням

Висновок

Таким чином, можна констатувати, що багатоопераційні верстати мають цілий ряд переваг в порівнянні з іншими автоматичними верстатами і в силу забезпечення високої гнучкості виробництва є незамінним в умовах малосерійного виробництва при виготовленні корпусних деталей.

Твкож, на даному занятті ми розглянули мехатронні пристрої та пристрої для автоматичної зміни інструменту, їх функції та склад, а також вимоги, що пред'являються до них.

Без твердих знань по даному питанню важко буде усвідомити пристрою і принципи дії верстатів з ЧПК

Список використаної літератури

основна:

1. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / Т.М. Авраамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др.; под ред. В.В. Бушуева.Т.2. — М.: Машиностроение, 2011. — 608 с. С.132–145.

додаткова:

2. Металлорежущие станки / Н.С. Каменев, Л.В. Красниченко и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 500 с.

3. Металлорежущие станки / Н.С. Каменев, Л.В. Красниченко и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 500 с.

Контрольні запитання

1. Які пристрої АЗІ застосовується в токарних верстатах з ЧПК?
2. Які методи використовуються для автоматичного пошуку інструменту в магазині?
3. На чому заснований метод пошуку інструменту в магазині за кодом інструменту?
4. Які основні види інструментальних магазинів застосовуються у верстатах з ЧПК?
5. За рахунок чого скорочується номенклатура інструментальних оправок у верстатах з ЧПК?
6. Які вимоги пред'являються до АЗІ, що визначають працездатність верстатів с ЧПК?
7. Які пристрої відносяться до мехатронних і які функції вони виконують у верстатному обладнанні?